

Projeto de Circuitos Fotônicos Integrados

Circuitos fotônicos básicos

Atividade 3 – filtros passa-banda MZI SOI aplicados a WDM e (de-)multiplexadores

Lucivaldo Barbosa de Aguiar Junior



Centro de Competência Embrapii em
Hardware Inteligente para a Indústria

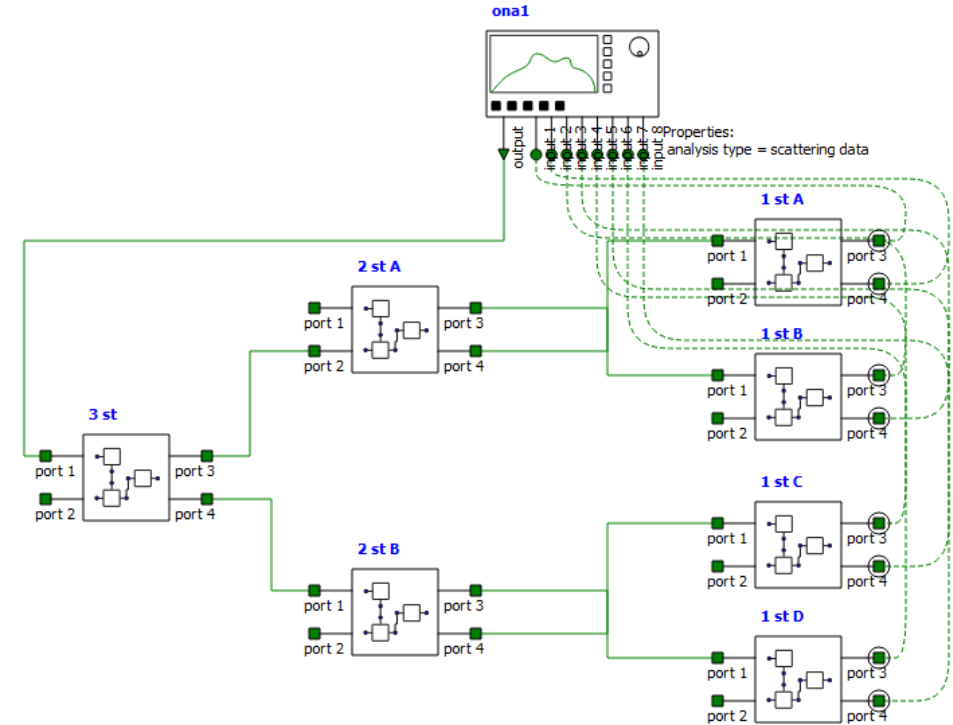
CURSOS, CAPACITAÇÃO E TREINAMENTOS



Sumário



- Introdução;
- Fundamentação teórica;
- Metodologia;
- Filtro Lattice genérico via Python;
- Caso ideal;
- Filtros *SAP*, 4ª ordem e ordem mista com itens do PDK;
- Comparação entre o *SAP* e o utilizado;
- DRC;
- GDS;
- Referências.

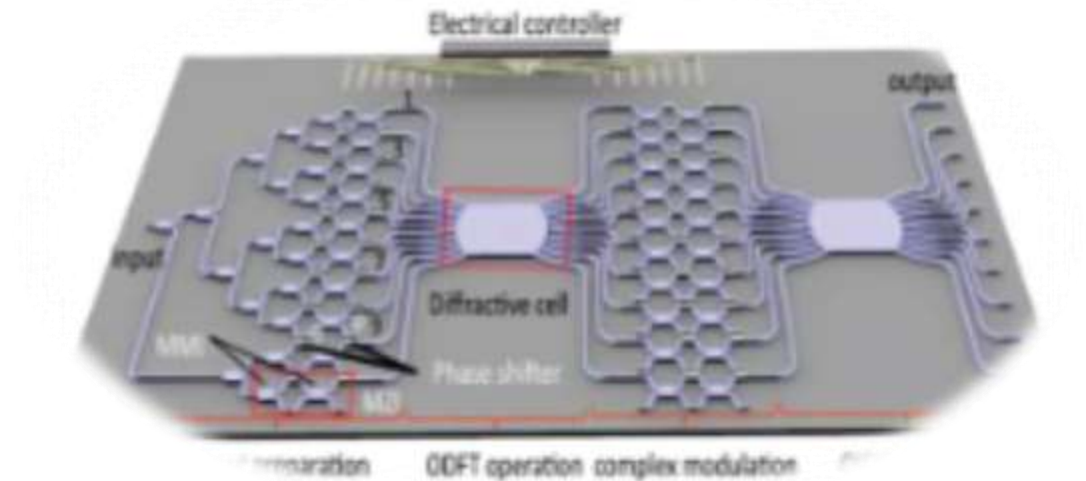


Introdução



De-multiplexadores têm inúmeras aplicações em diversas áreas

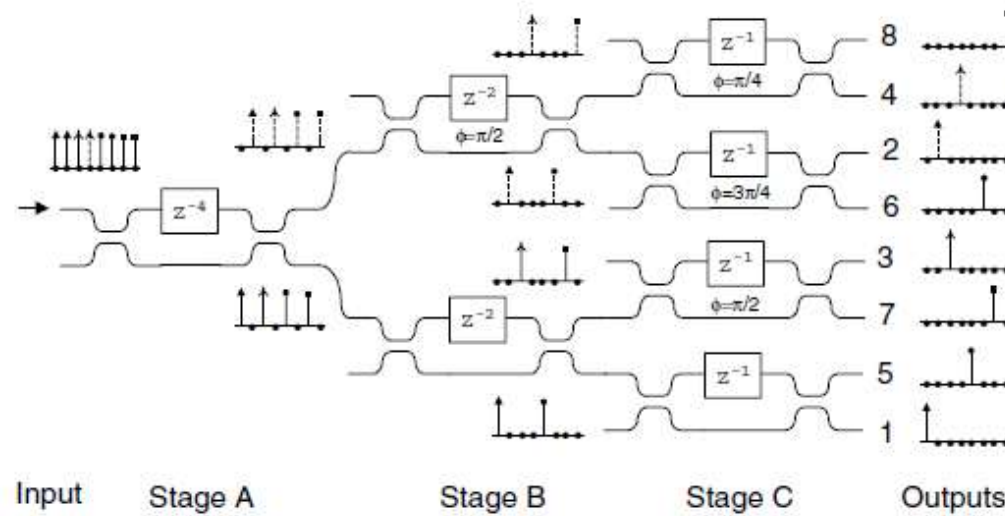
- Transmissão a longas distâncias;
- Roteamento de diferentes canais para fibras;
- Computação neuromórfica;
- Redes ópticas;
- Etc.



Fundamentação teórica

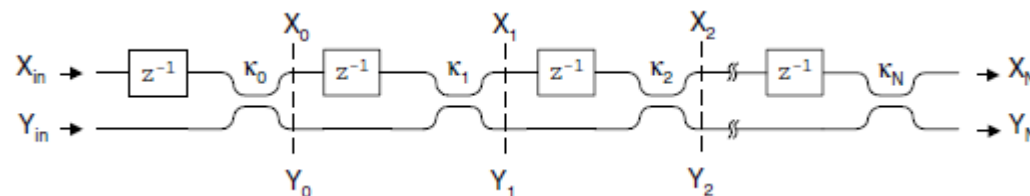


Entrada e saídas de demultiplexador 1:8 ideal



- Aumentar a ordem dos filtros aumenta a banda de passagem plana.
- **K** e **Φ** são obtidos numericamente por métodos recursivos.

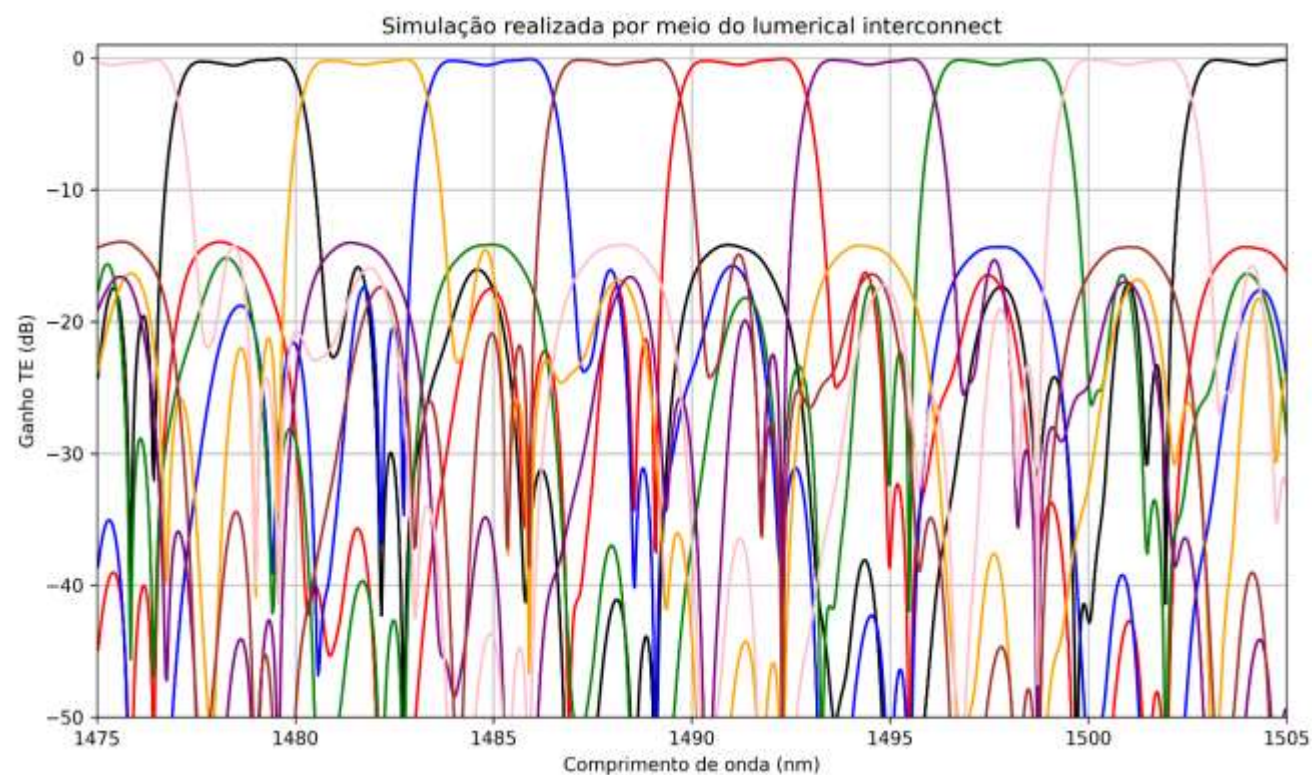
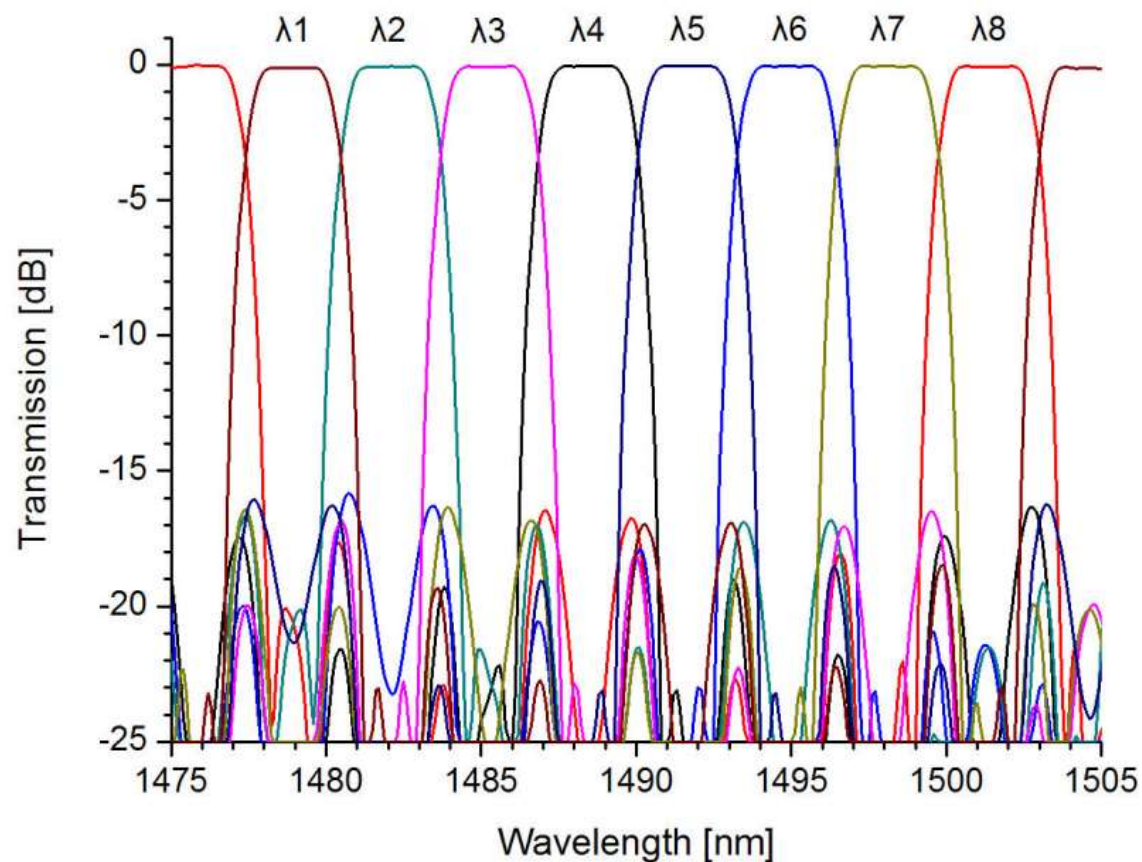
Filtro Lattice de 3ª ordem



Metodologia



Reproduzir os resultados da referência utilizada, quando possível, com os mesmos métodos e equações. Com as equações e métodos validados, são feitos os ajustes necessários ao escopo atual.



Filtro Lattice genérico



```
def MZILatticefilter(icApi, neff, ng, L, delayLengths, k, name, nLattice):

    icApi.switchtolayout()
    # Adding and positioning the dcs and wgs
    for i in range(nLattice):
        icApi.addelement('Waveguide Coupler')
        name_dc = f'dc{i + 1}'
        icApi.set('name', name_dc)
        icApi.setposition(name_dc, 400 + 400 * i, 100)
        icApi.set('coupling coefficient 1', k[i])

    for i in range((nLattice-1)*2):
        icApi.addelement('Straight Waveguide')
        name_wg = f'wg{i + 1}'
        icApi.set('name', name_wg)
        icApi.set('effective index 1', neff)
        icApi.set('group index 1', ng)

        if i % 2 == 0:
            compr = L
        else:
            idx = i // 2
            compr = delayLengths[idx]
        icApi.set('length', compr)

        grupo = i // 2

        x = 600 + 400 * grupo

        y = 60 if i % 2 == 0 else 160

        icApi.setposition(name_wg, x, y)
```

```
# connecting em all together
for i in range(nLattice-1):
    # dcs to wgs
    icApi.connect(f'dc{i + 1}', 'port 3', f'wg{2 * i + 1}', 'port 1')
    icApi.connect(f'dc{i + 1}', 'port 4', f'wg{2 * i + 2}', 'port 1')
    # wgs to dcs
    icApi.connect(f'wg{2 * i + 1}', 'port 2', f'dc{i + 2}', 'port 1', )
    icApi.connect(f'wg{2 * i + 2}', 'port 2', f'dc{i + 2}', 'port 2', )

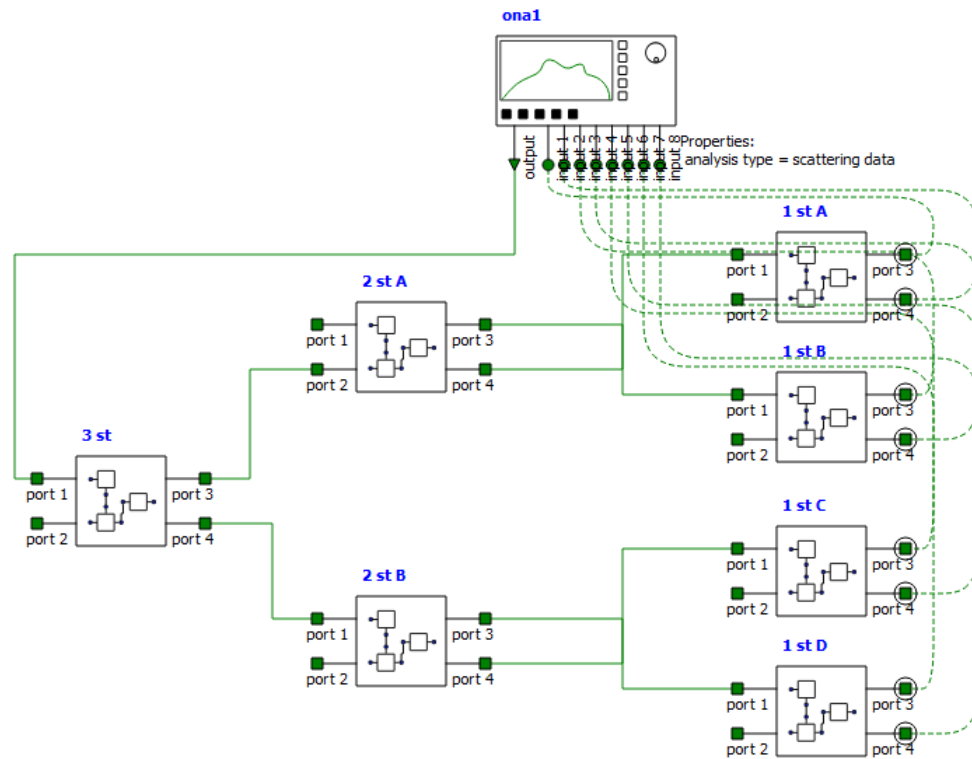
# criando compound element
icApi.select('dc1')
for i in range(1, nLattice+1, 1):
    icApi.shiftselect(f'dc{i}')
for j in range(0, (nLattice-1)*2, 1):
    icApi.shiftselect(f'wg{j + 1}')
```

```
icApi.createcompound()
icApi.select('COMPOUND_1')
icApi.set('name', name)
icApi.addport(name, 'port 1', 'Bidirectional', 'Optical Signal', 'Left', 0.25)
icApi.addport(name, 'port 2', 'Bidirectional', 'Optical Signal', 'Left', 0.75)

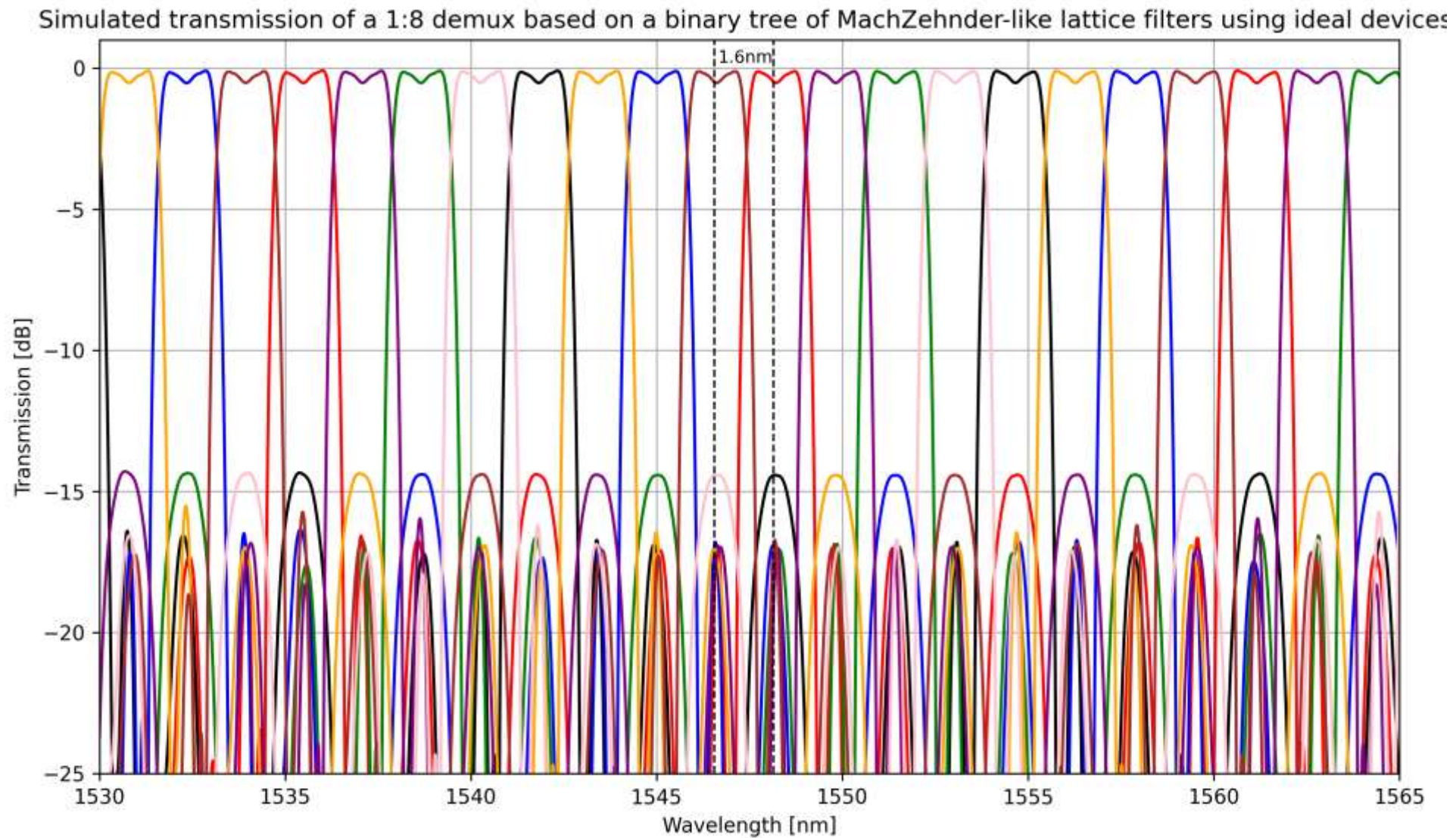
icApi.addport(name, 'port 3', 'Bidirectional', 'Optical Signal', 'Right', 0.25)
icApi.addport(name, 'port 4', 'Bidirectional', 'Optical Signal', 'Right', 0.75)

icApi.groupscope(name)
icApi.connect('RELAY_1', 'port', 'dc1', 'port 1')
icApi.connect('RELAY_2', 'port', 'dc1', 'port 2')
icApi.connect('RELAY_3', 'port', f'dc{nLattice}', 'port 3')
icApi.connect('RELAY_4', 'port', f'dc{nLattice}', 'port 4')

icApi.refresh()
return 0
```

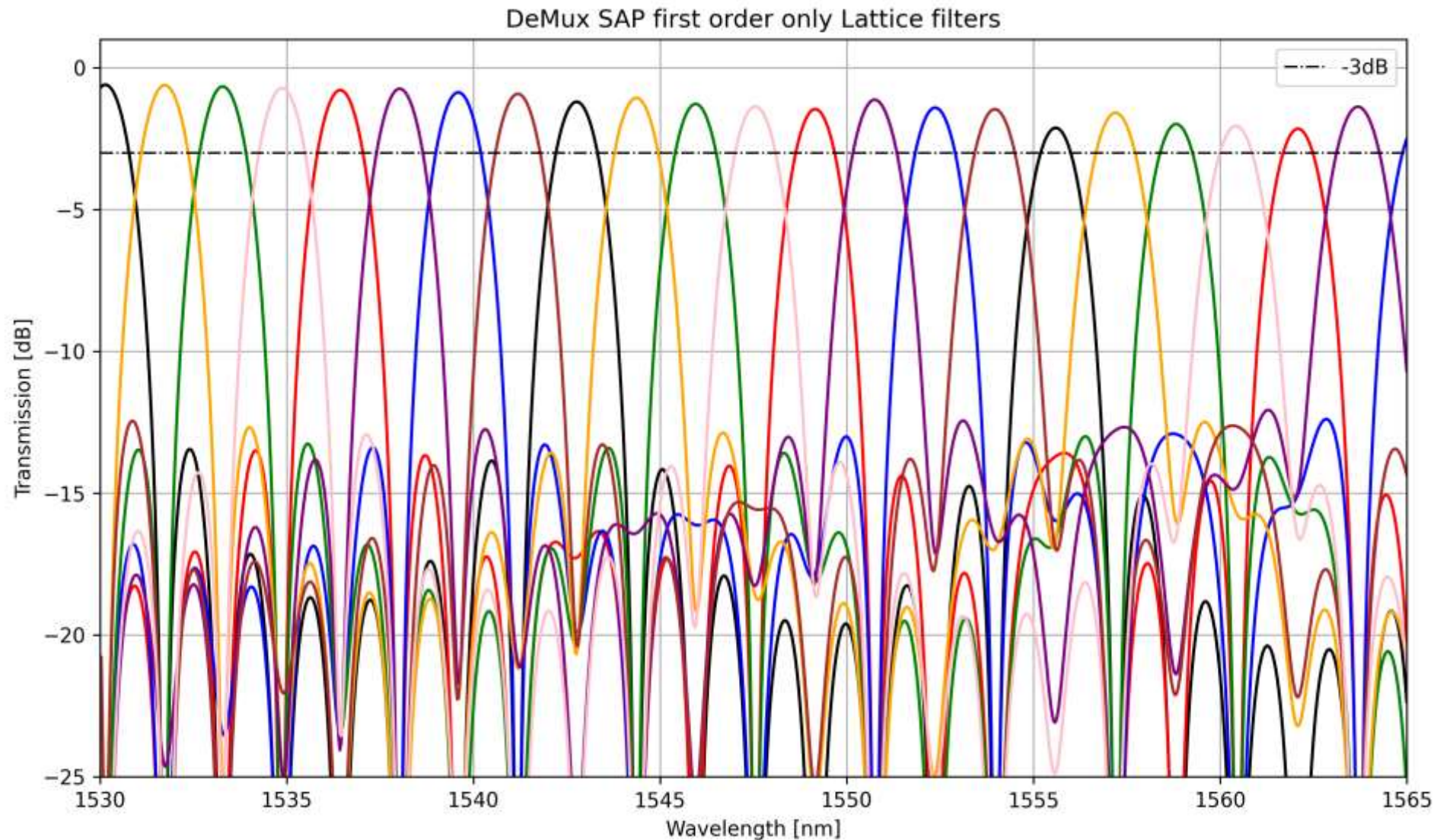


Caso ideal – gráfico de transmissão



PDK SiEPIC– filtro *SAP*

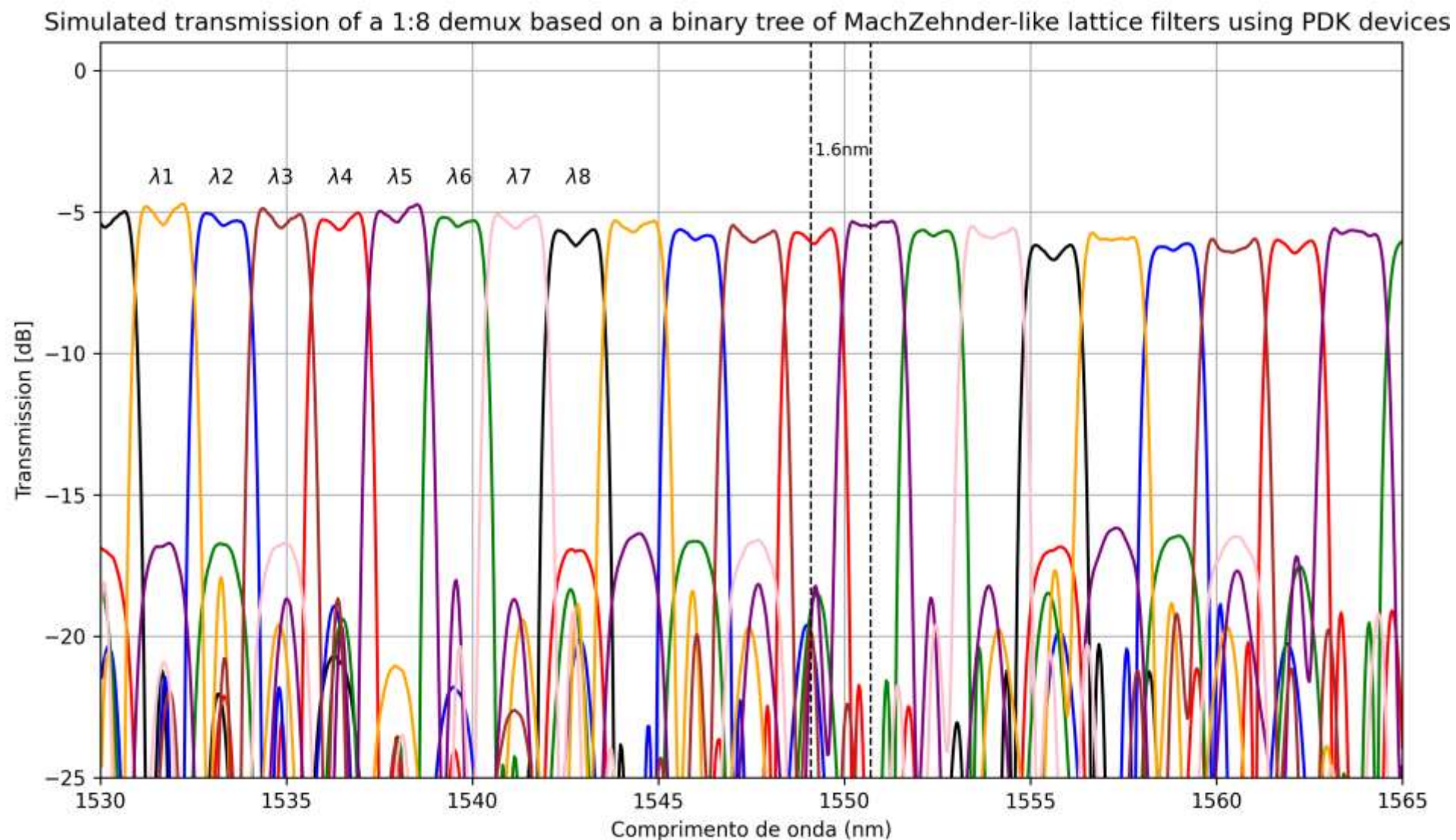
- Feito utilizando apenas filtros de 1ª ordem.



PDK SiEPIC– filtros de 4ª ordem



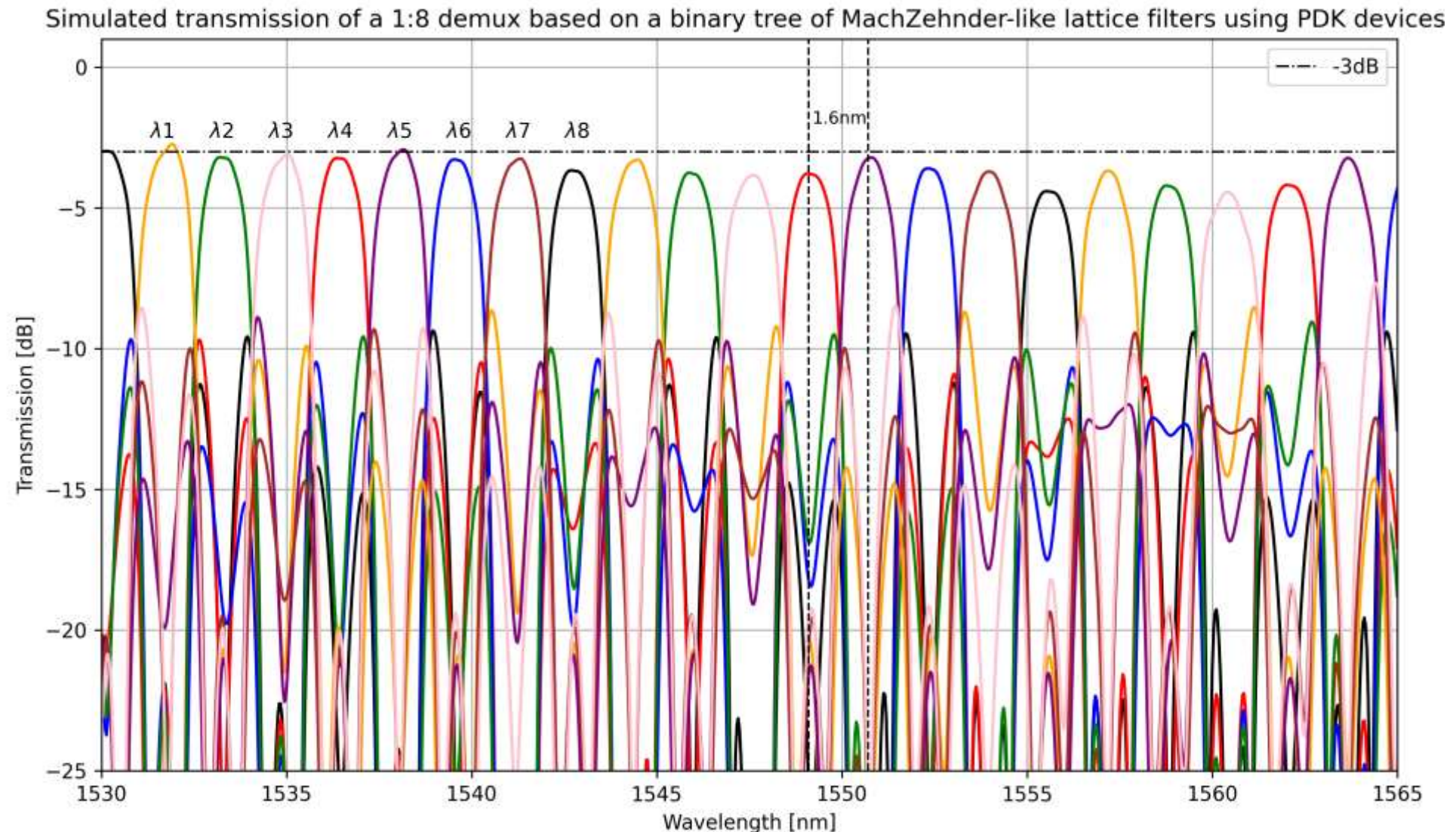
- Feito utilizando apenas filtros de 4ª ordem.



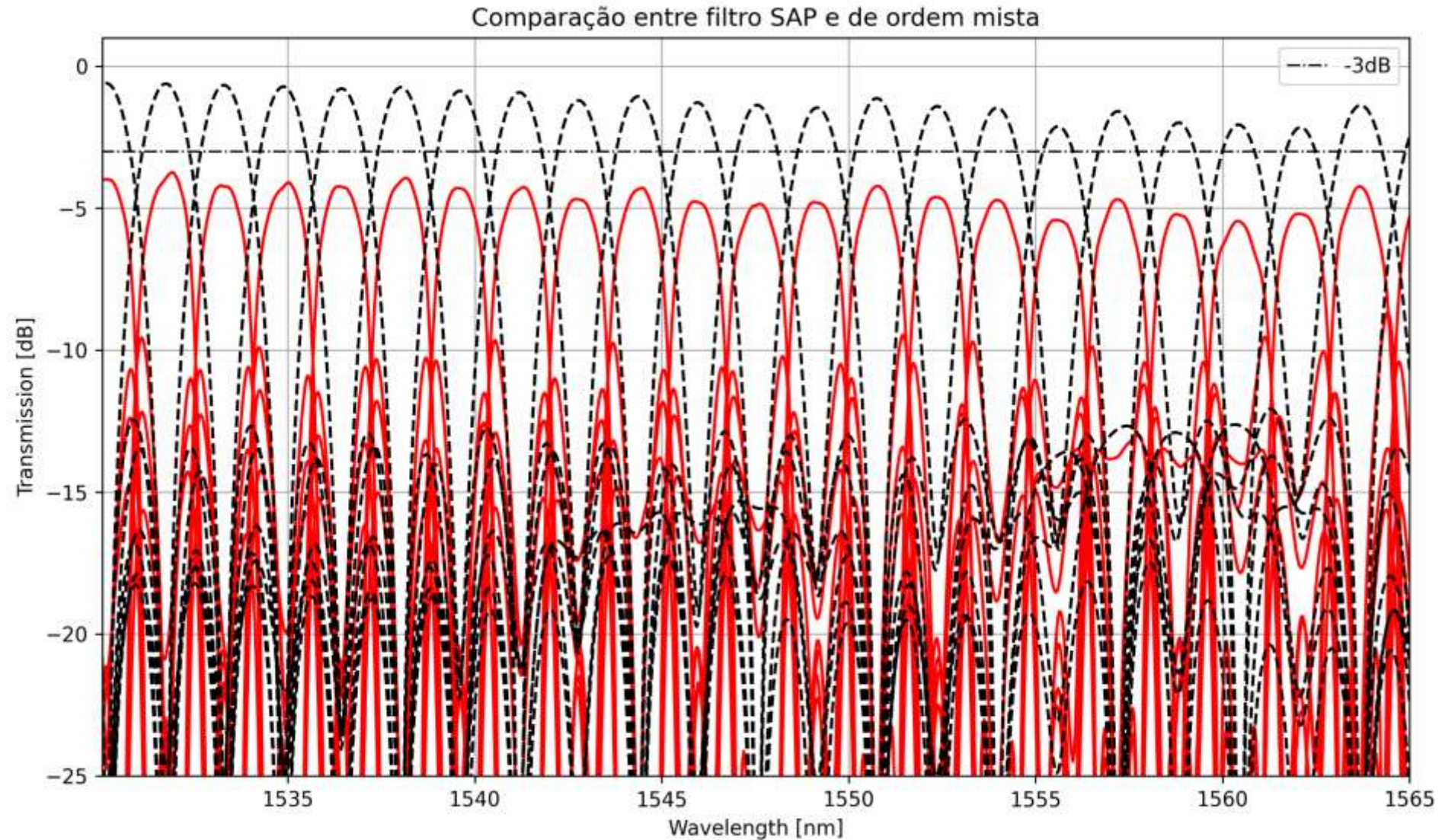
PDK SiEPIC– filtros de ordem mista (espaçamento de 200GHz)



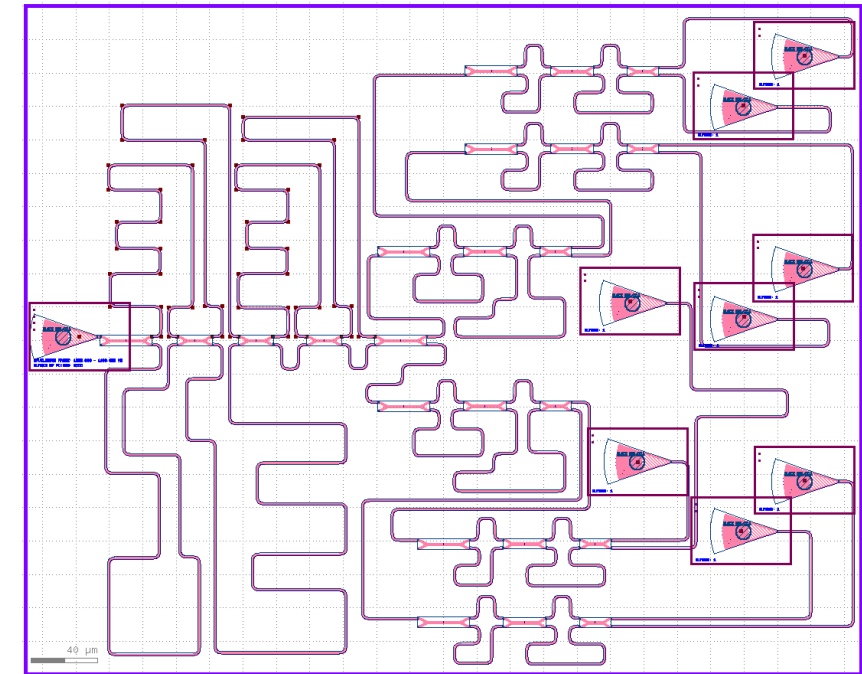
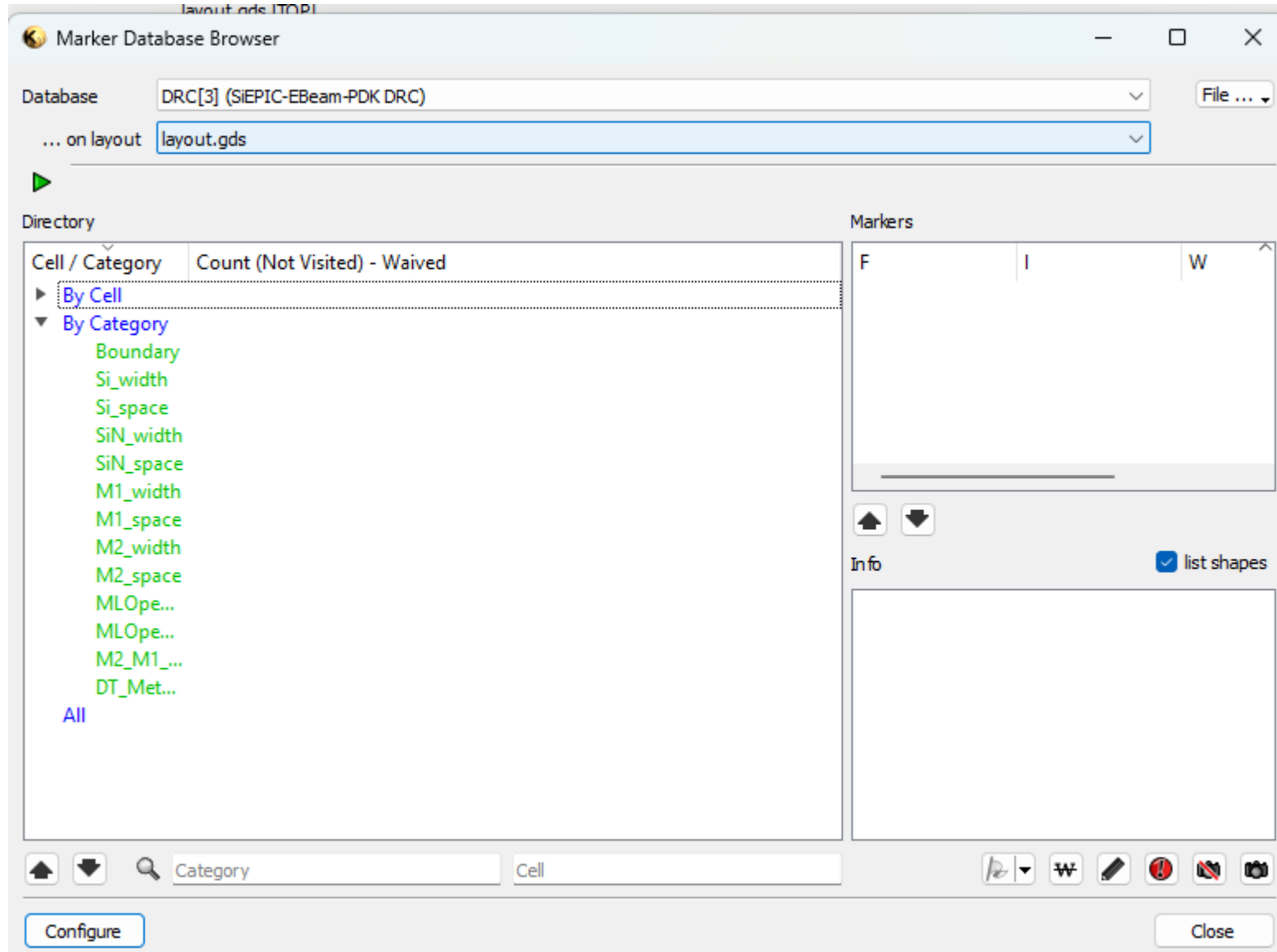
- O filtro de entrada é de 4ª ordem e o restante de 2ª ordem.



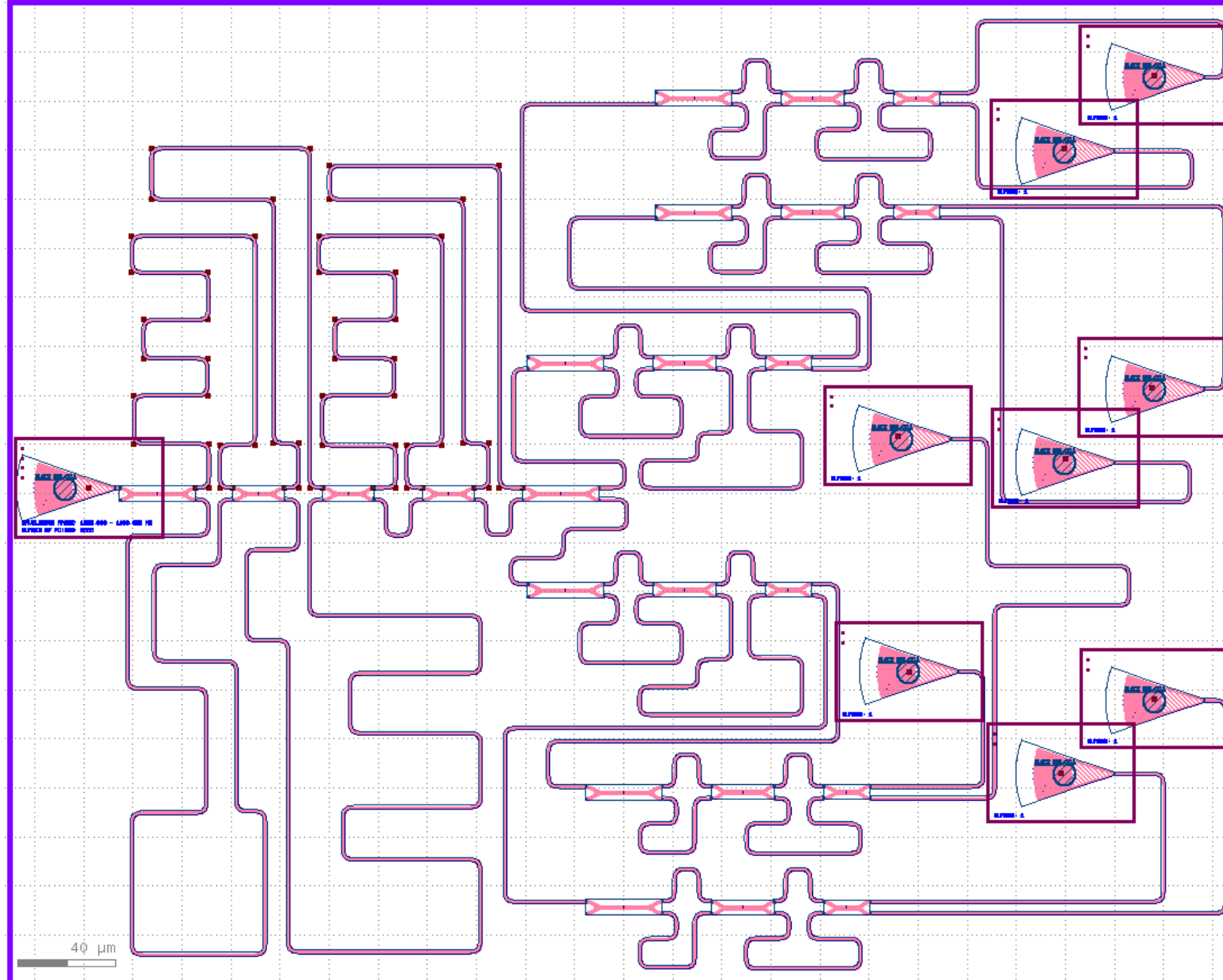
PDK SiEPIC– comparação dos filtros *SAP* e de ordem mista



GDS- DRC



GDS- dispositivos do PDK SiEPIC (espaçamento de 200GHz)



Referências



1. ANSYS. Compound Element (COMPOUND) - INTERCONNECT Element. Disponível em: <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360036109554-Compound-Element-COMPOUND-INTERCONNECT-Element> Acesso em: Abril de 2025.
2. ANSYS. Lumerical scripting language. Disponível em: <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360037228834-Lumerical-scripting-language-By-category>. Acesso em: Abril de 2025.
3. CHROSTOWSKI, Lukas; HOCHBERG, Michael E. *Silicon photonics design*. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
4. HORST, F.; GREEN, W. M. J.; ASSEFA, S.; SHANK, S. M.; VLASOV, Y. A.; OFFREIN, B. J. Cascaded Mach-Zehnder wavelength filters in silicon photonics for low loss and flat pass-band WDM (de-)multiplexing. *Optics Express*, v. 21, n. 10, p. 11652–11658, May 2013. DOI: 10.1364/OE.21.011652
5. OKAMOTO, Katsunari. *Fundamentals of optical waveguides*. 3rd ed. [S.l.]: Academic Press/Elsevier, 2022. ISBN 978-0-12-815601-8.



SEMANA 05/05 – 12/05

Otimizações realizadas a partir do feedback do orientador

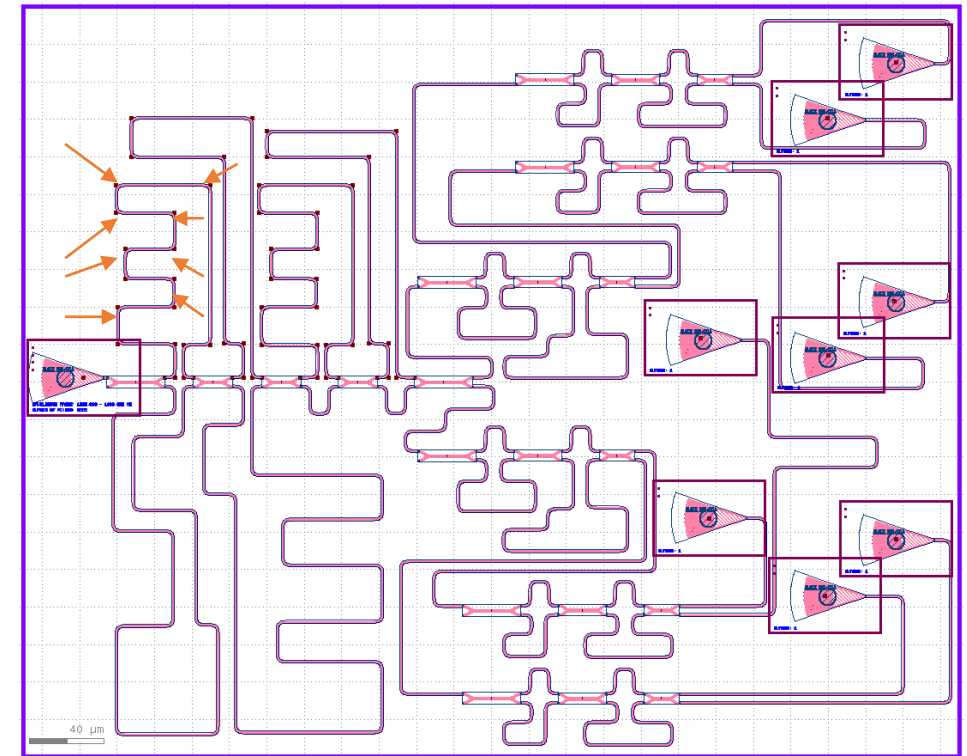
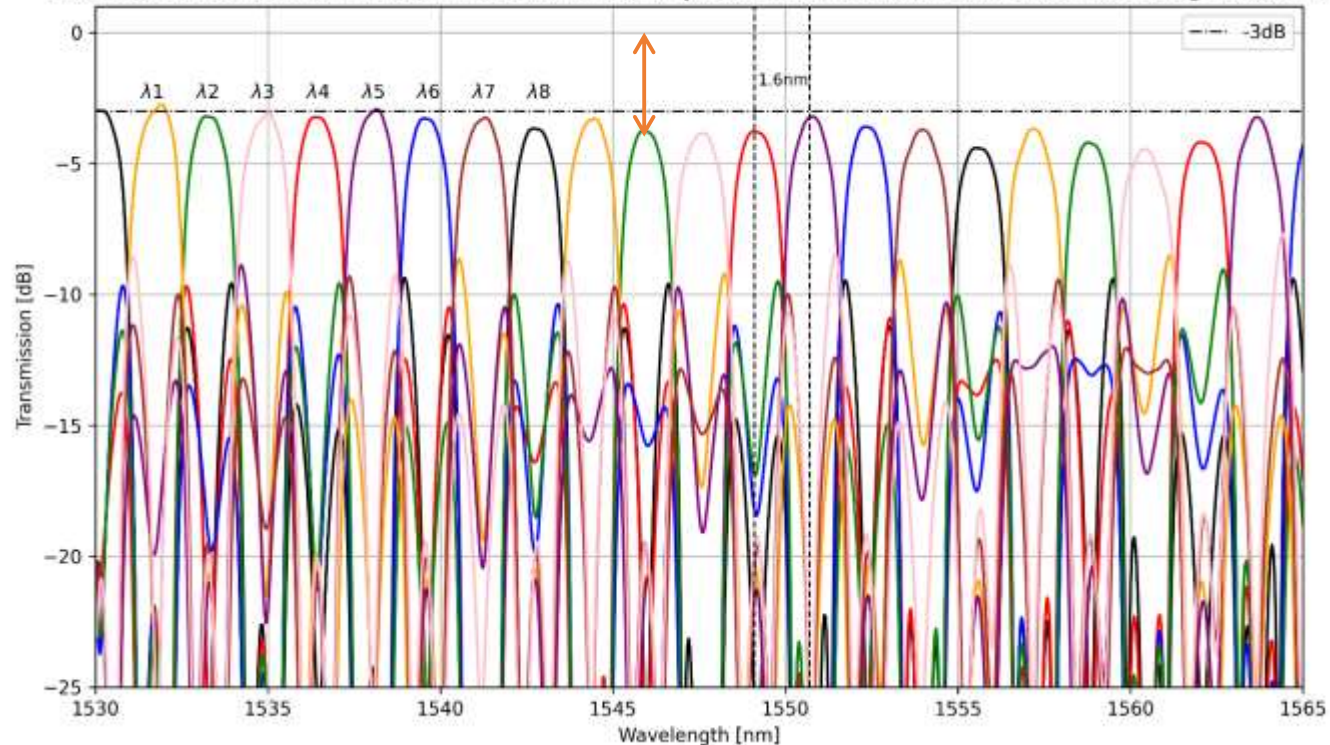
Abordagem holística

Entendendo melhor os parâmetros e os dispositivos à disposição.

Principais problemas:

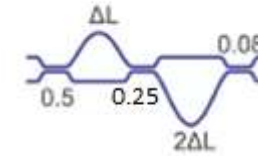
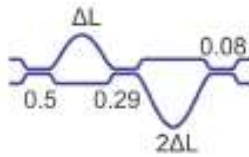
- Altas perdas;
- Baixa uniformidade na banda de operação;
- Layout mal otimizado.

Simulated transmission of a 1:8 demux based on a binary tree of MachZehnder-like lattice filters using PDK devices

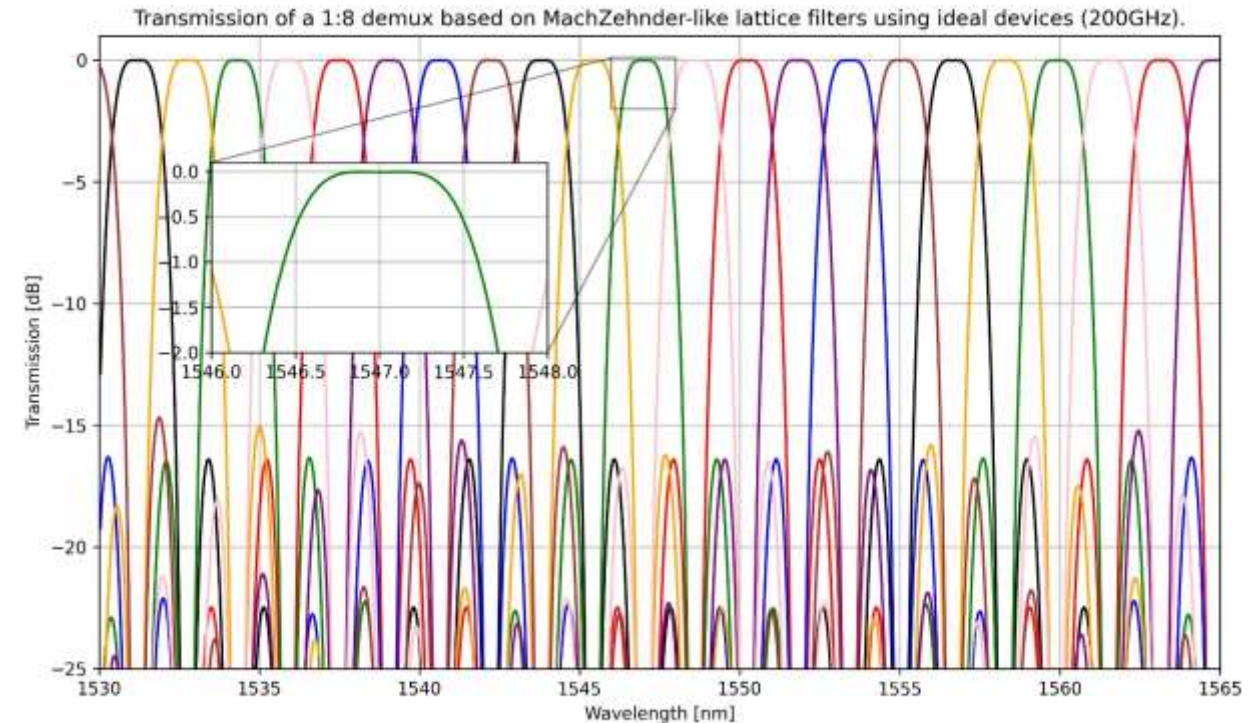
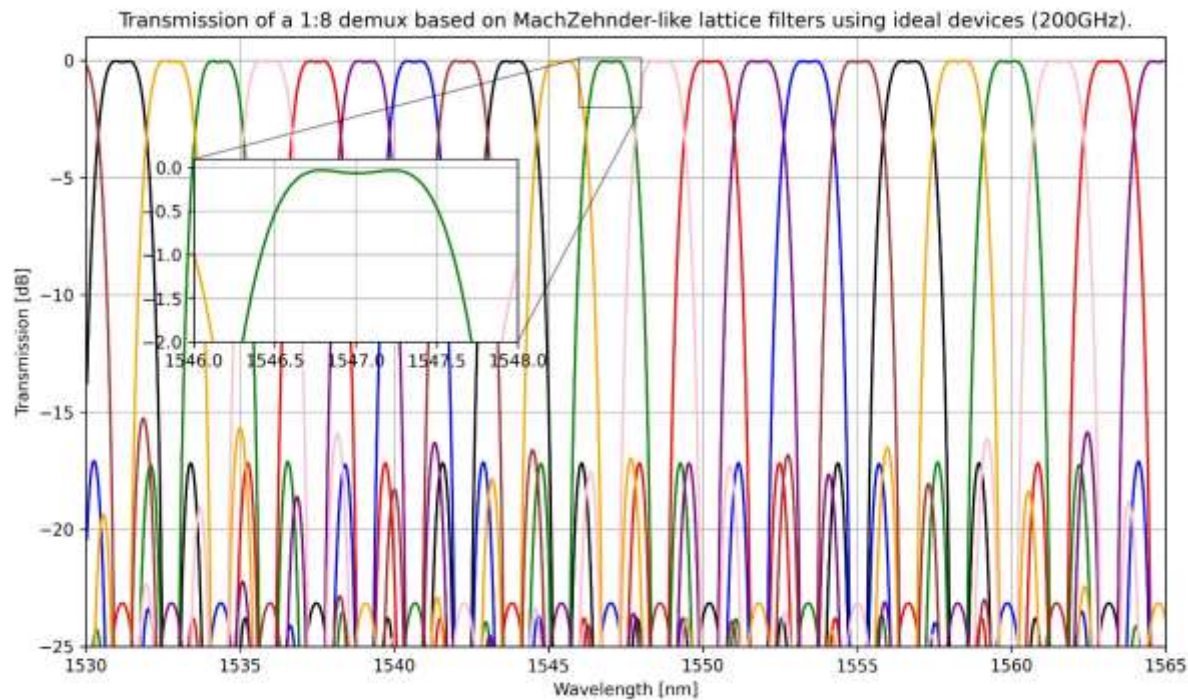


Abordagem holística

Entendendo melhor os parâmetros e os dispositivos à disposição.
Coeficientes de acoplamento.

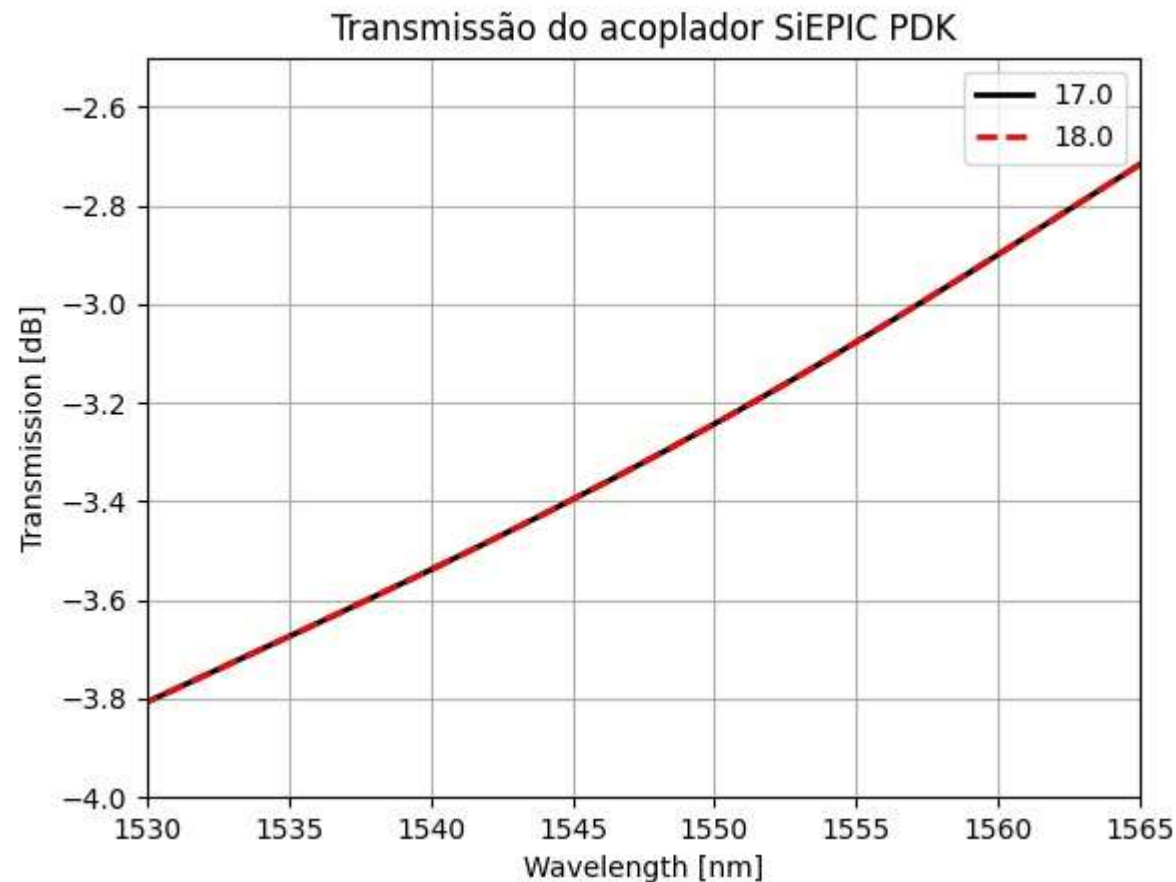


O coeficiente 0.25 foi determinado empiricamente.



Abordagem holística

Entendendo melhor os parâmetros e os dispositivos à disposição – acoplador direcional do PDK.



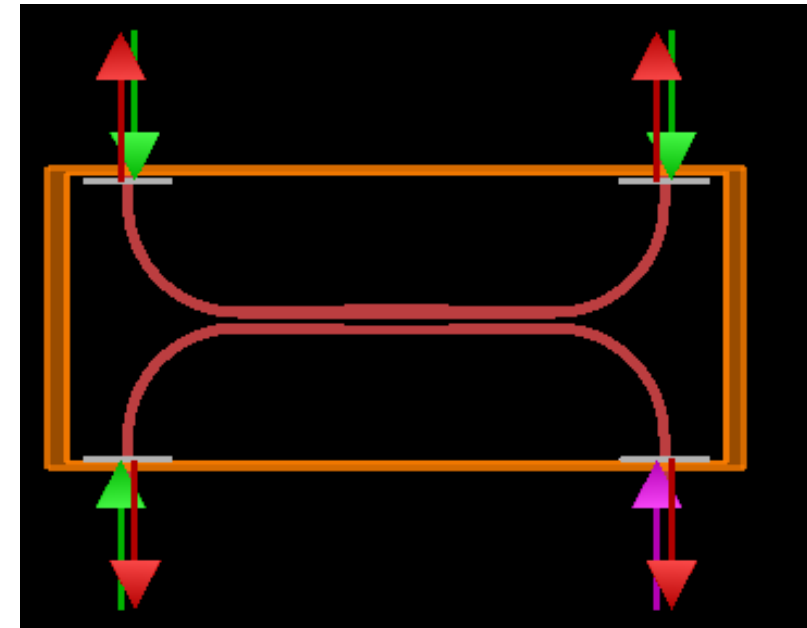
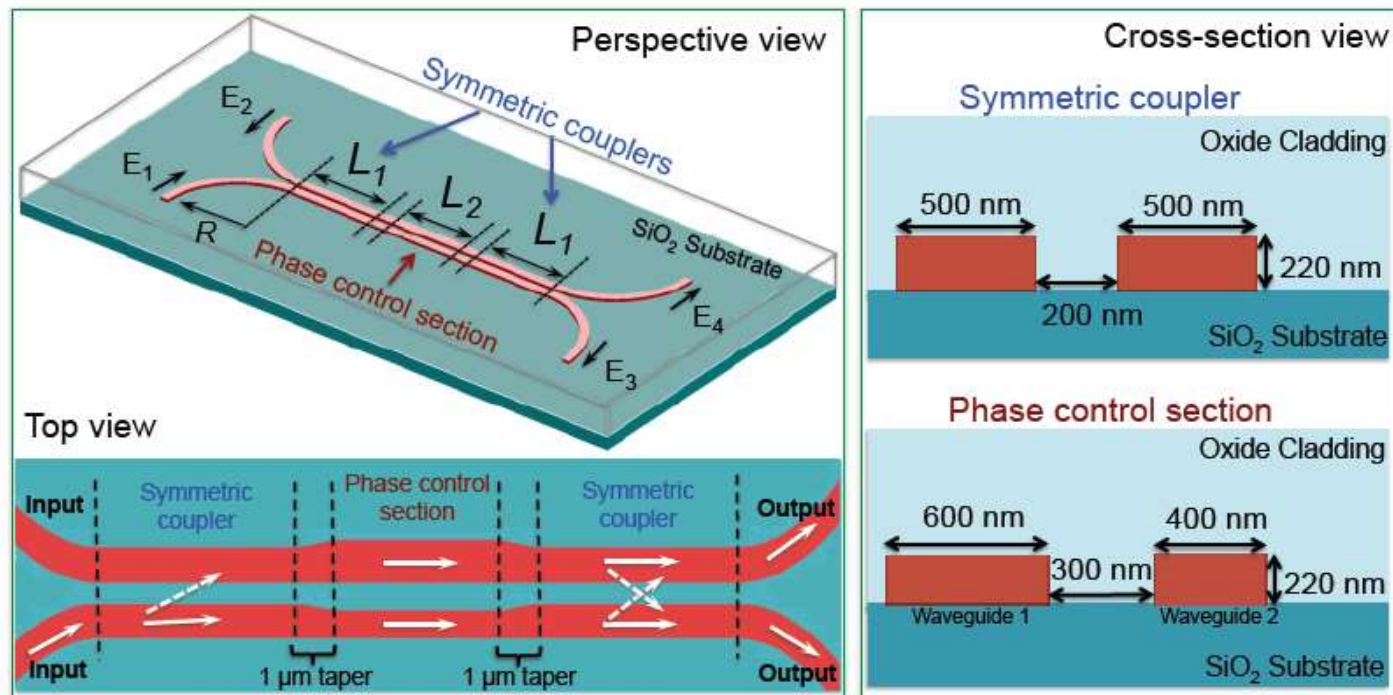
- Variação maior que 1dB dentro da banda.
- Mais de um comprimento associado ao mesmo coeficiente de acoplamento.

Abordagem holística

Criando um dispositivo banda larga.



Por meio de [7] foi criado um acoplador direcional banda larga baseado em controle de fase com o braços centrais.

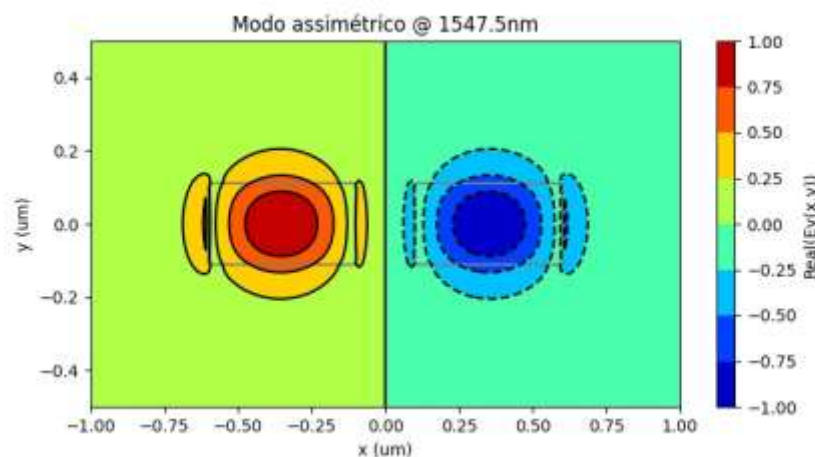
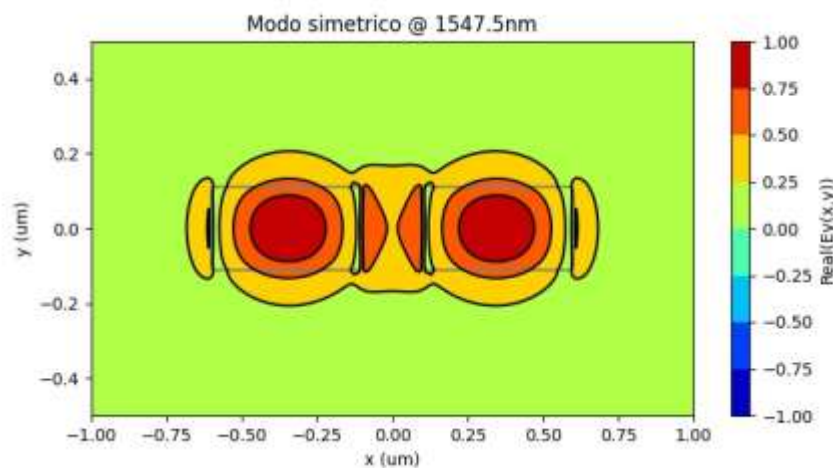


Abordagem holística

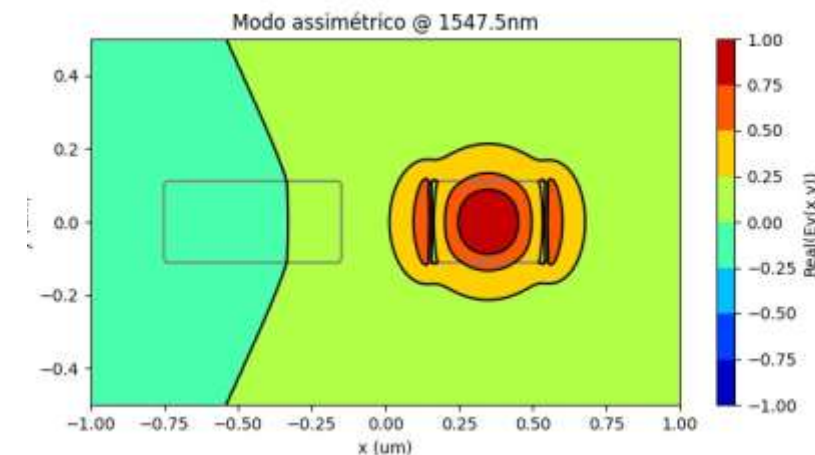
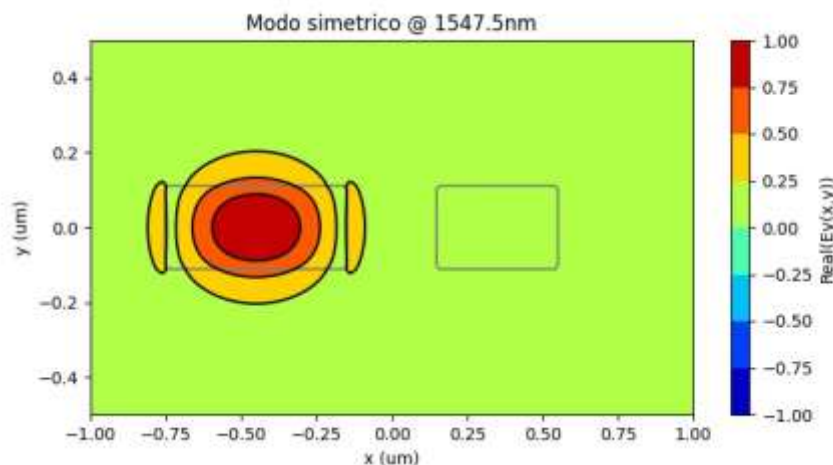
Seção de controle de fase



Solver: Mode



- Largura: 500nm;
- Gap = 200nm.

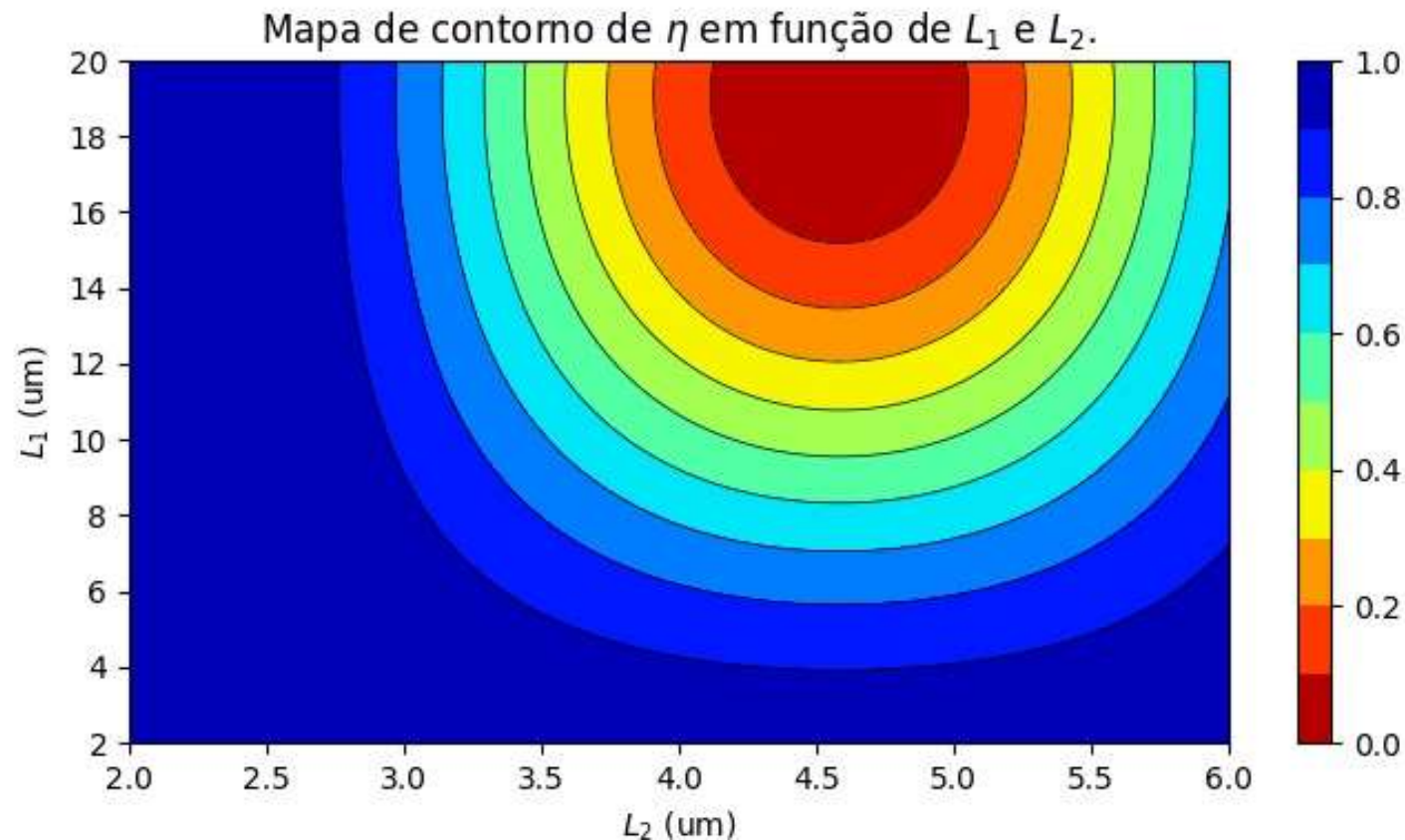


- Larguras: 600nm e 400nm;
- Gap = 300nm.

Abordagem holística

Seção de controle de fase

Conforme [6], a partir dos índices determinados na etapa anterior, foi plotado o mapa de contorno de η em função dos comprimentos de acoplamento com o TMM.



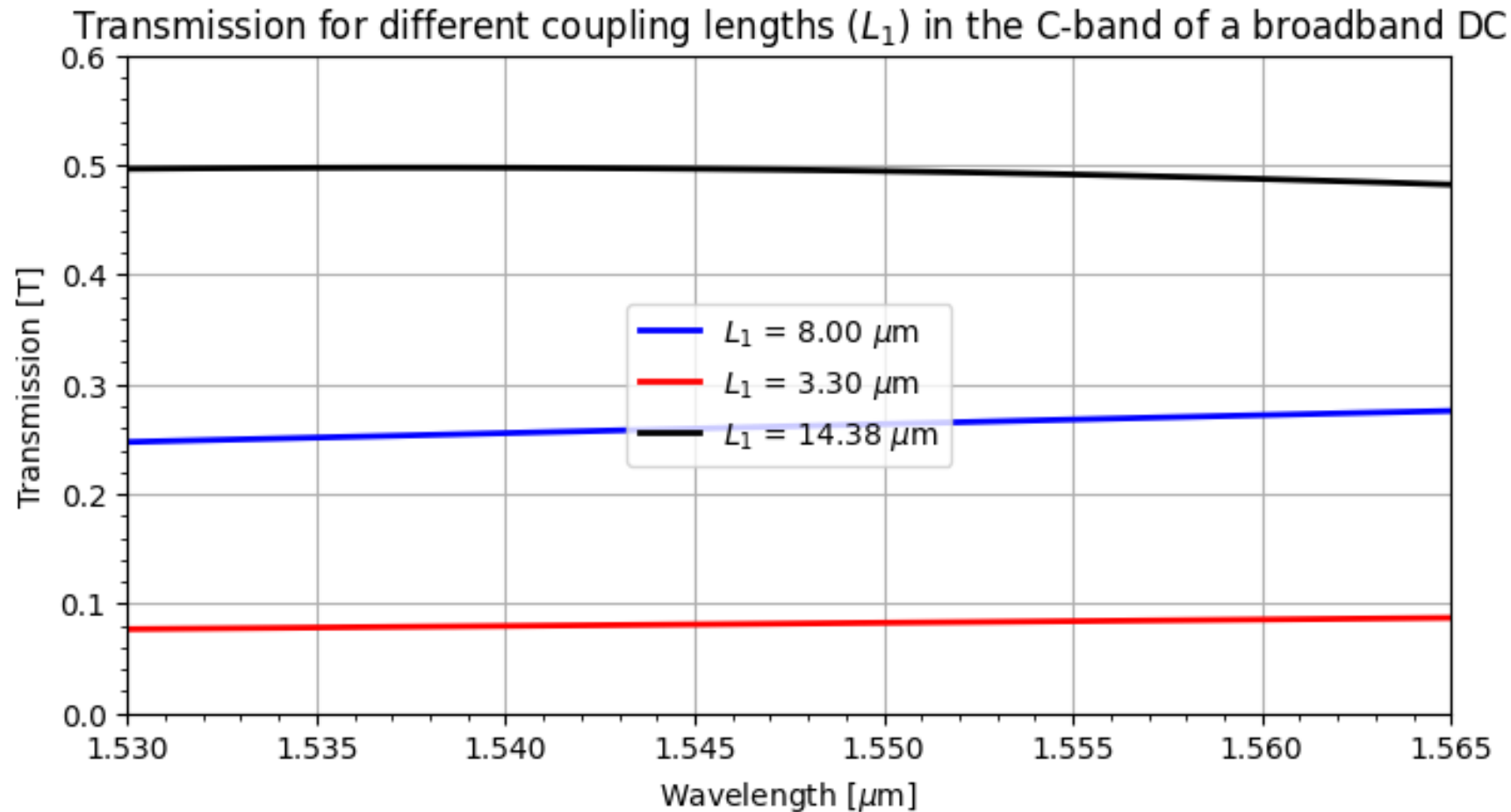
Vale lembrar que são necessários três dispositivos, cada um com os seguintes coeficientes de acoplamento: 0.5, 0.25 e 0.08.

Baseado em [lukas], foi fixado $L_2 = 4.6 \mu\text{m}$ e variou-se L_1 .



Abordagem holística

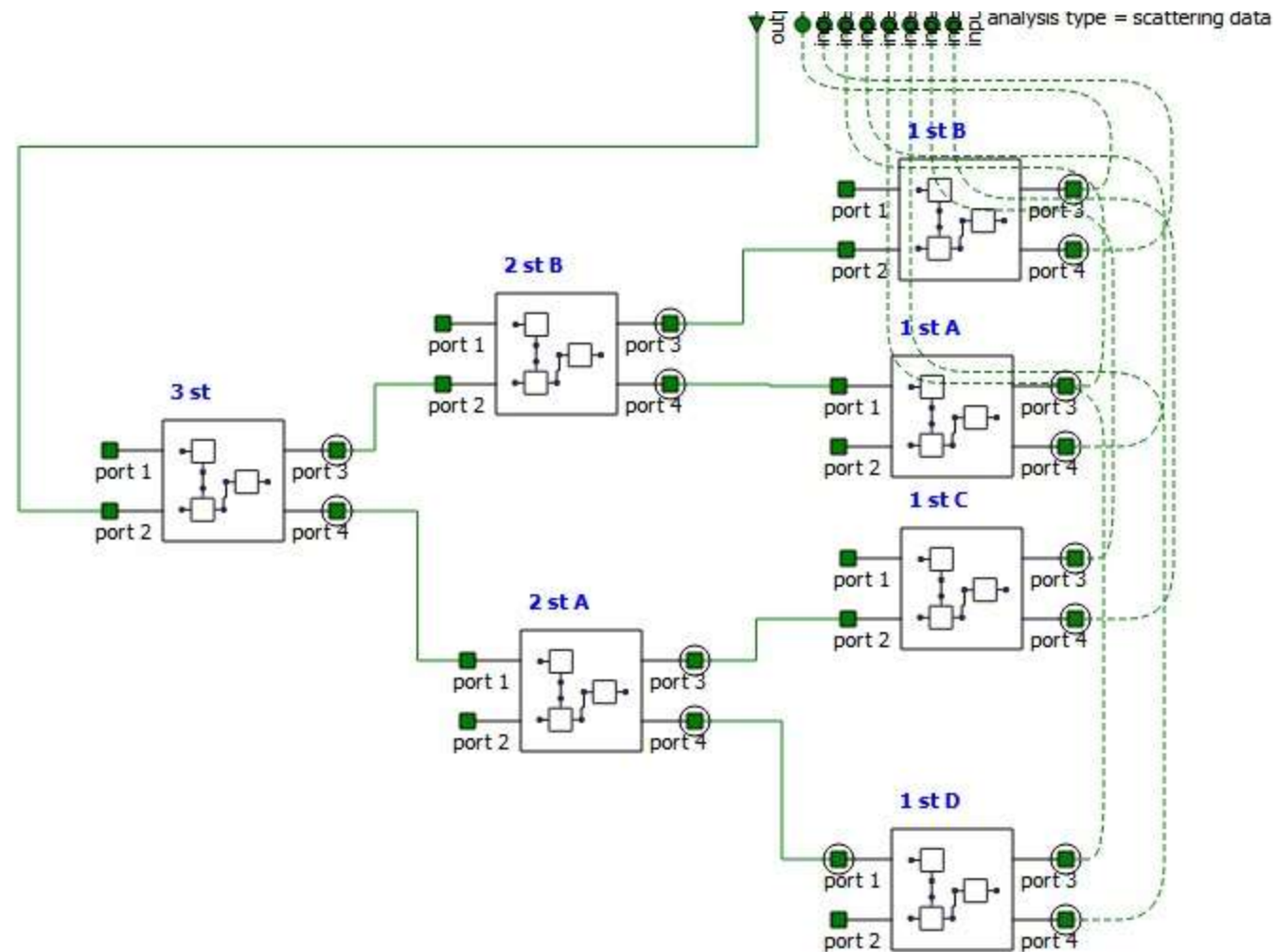
Transmissão de cada um dos dispositivos e seus respectivos comprimentos de acoplamento (L_1).



Solver: FDTD.
Mesh Accuracy: 3.
 $L_2 = 4.6 \mu\text{m}$

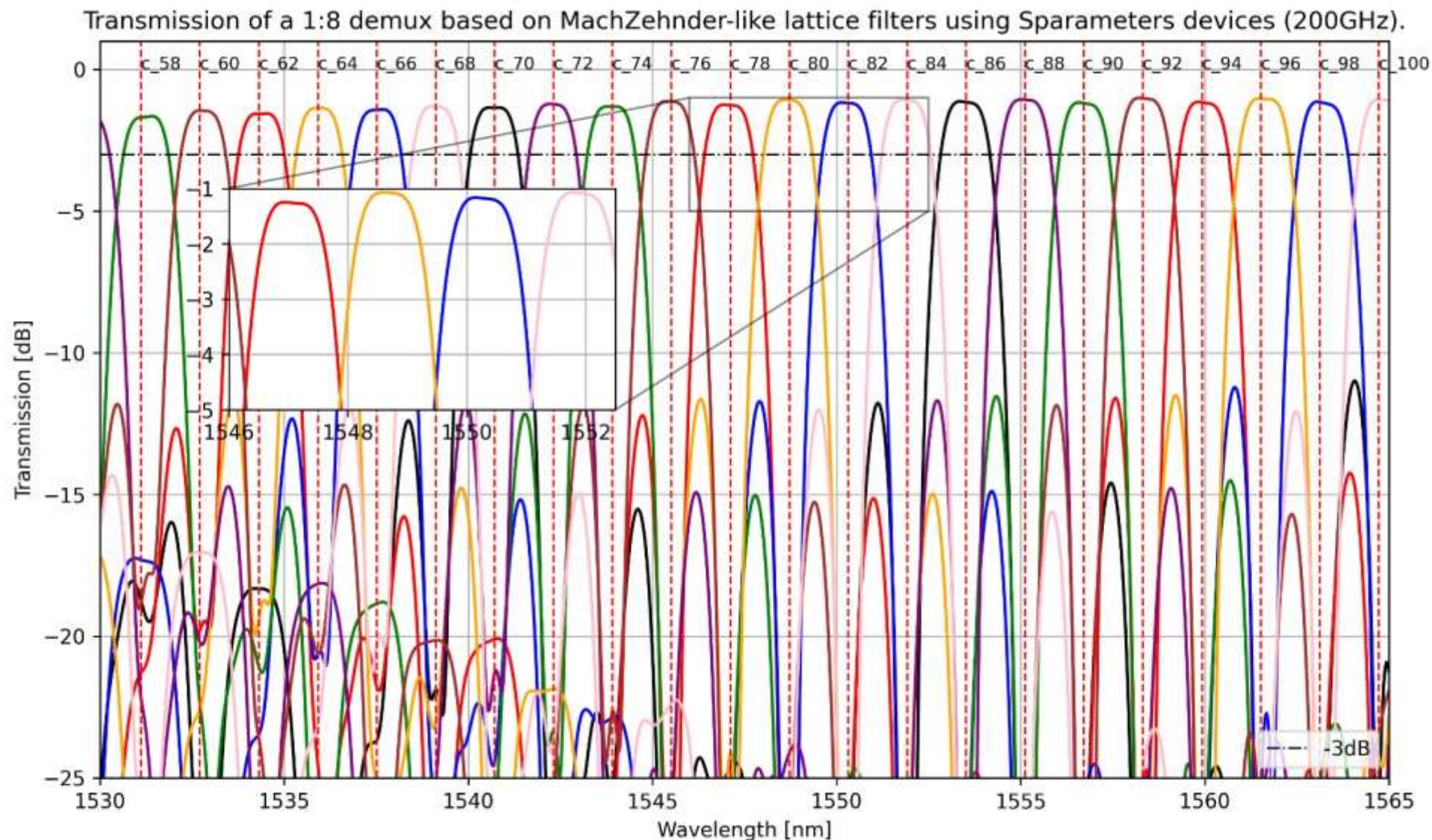
Abordagem holística

Conexões com o novo dispositivo



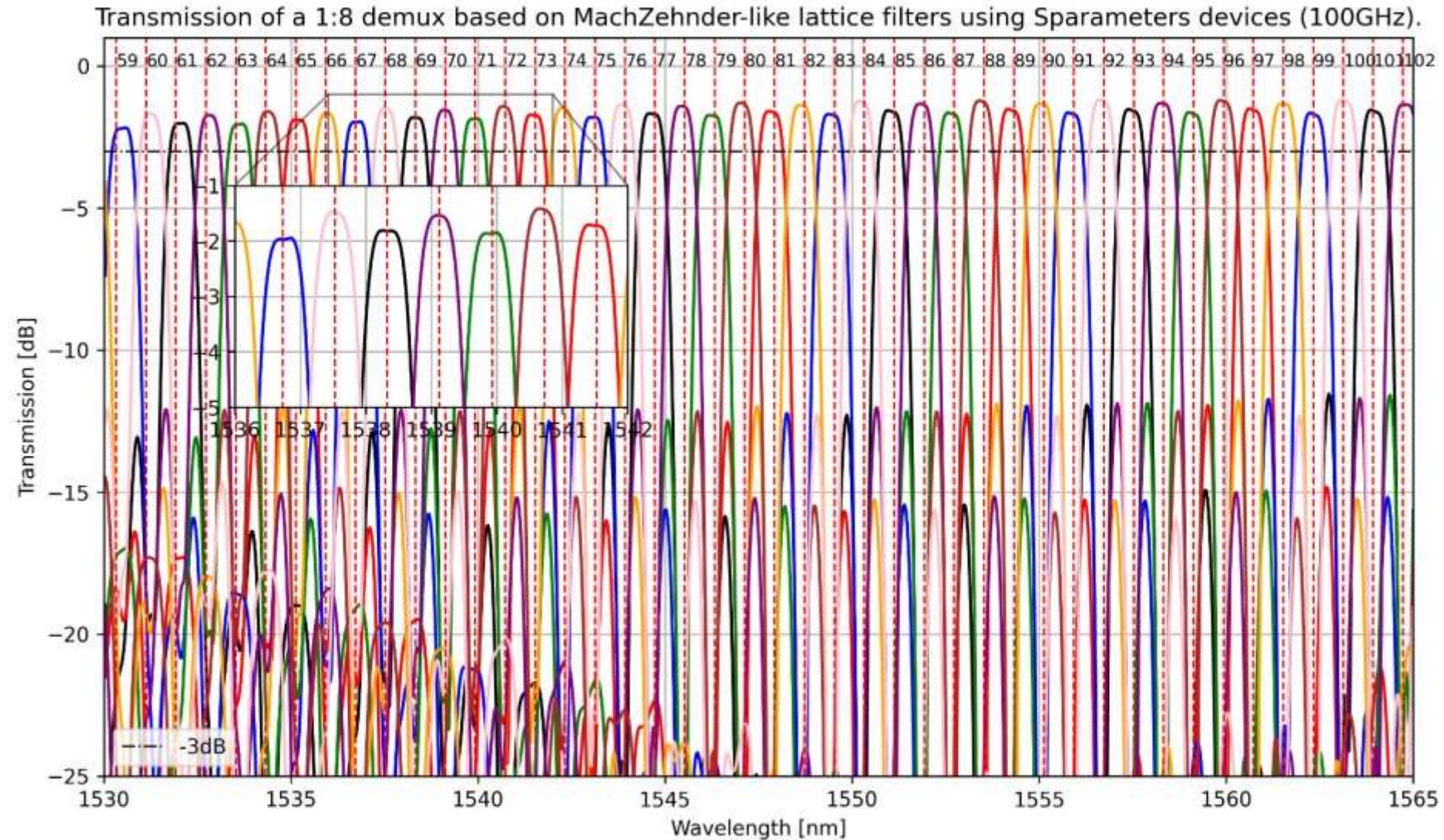
Abordagem holística

Resultados de transmissão



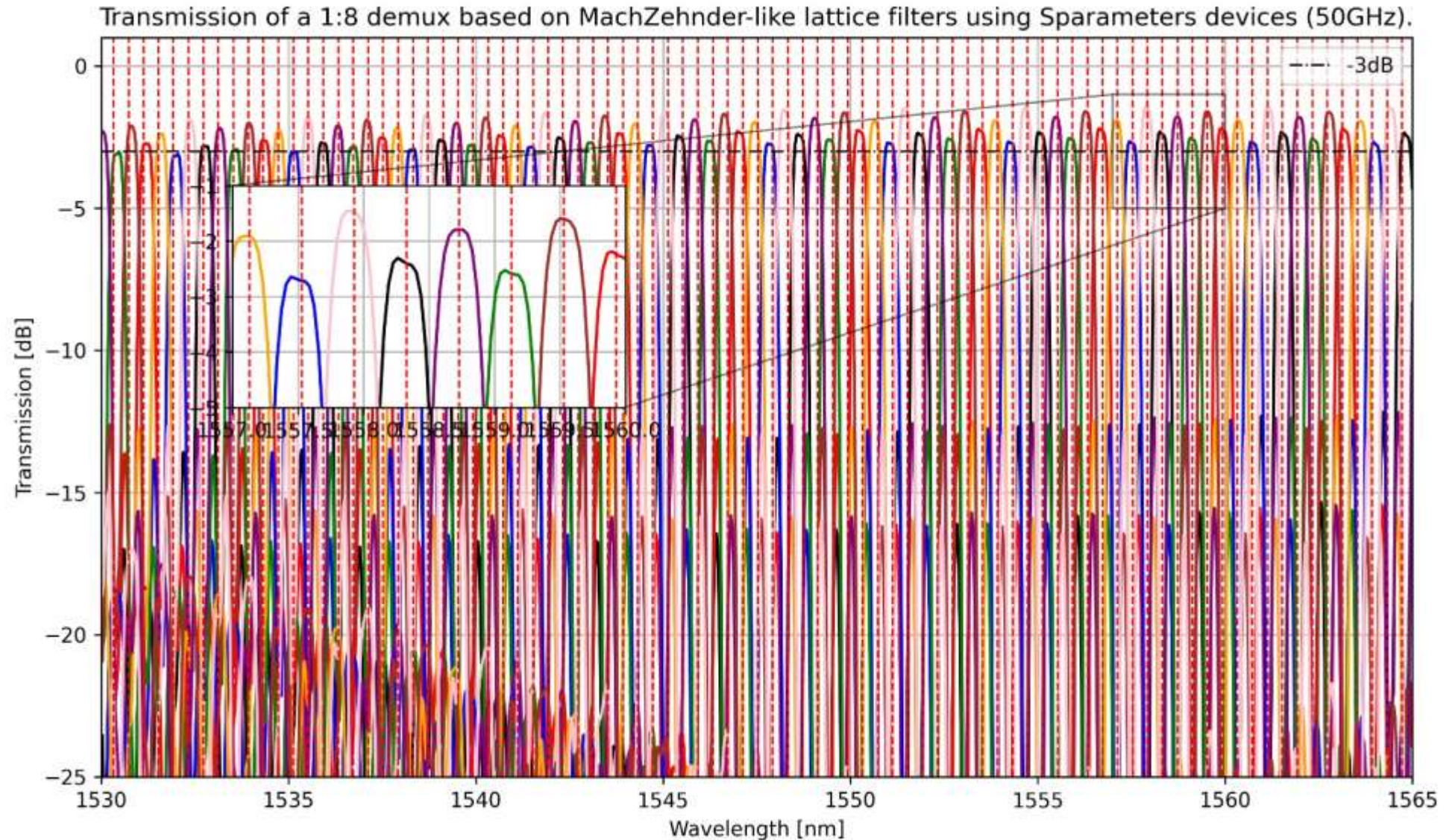
Abordagem holística

Resultados de transmissão



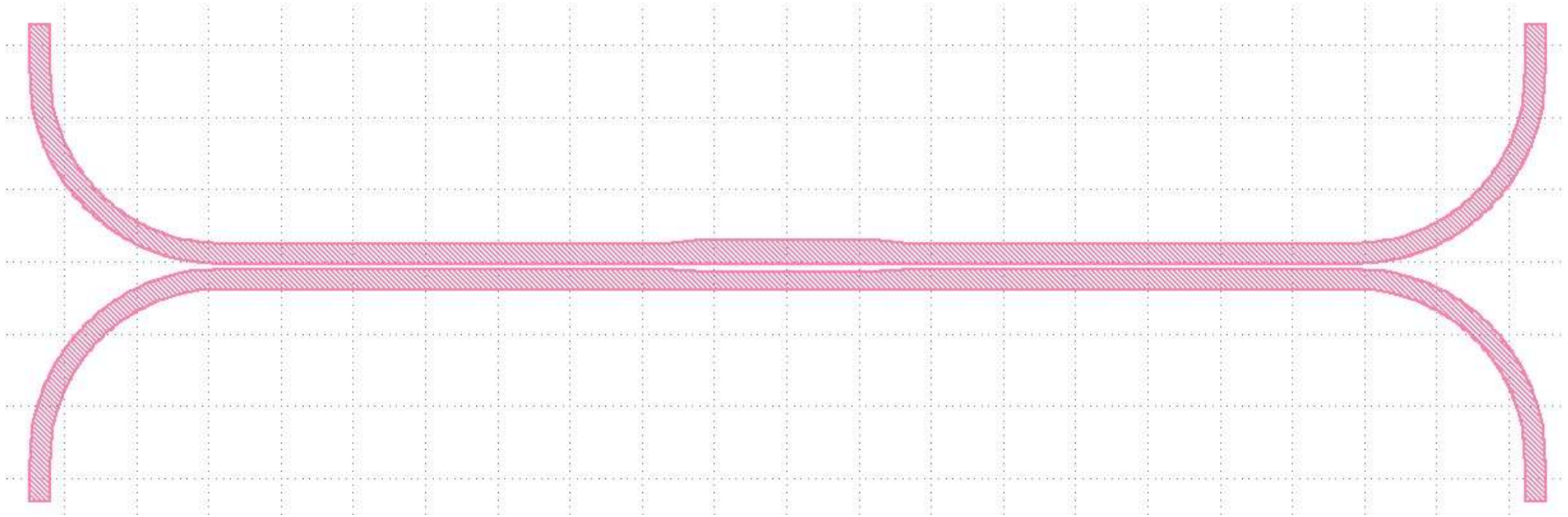
Abordagem holística

Resultados de transmissão



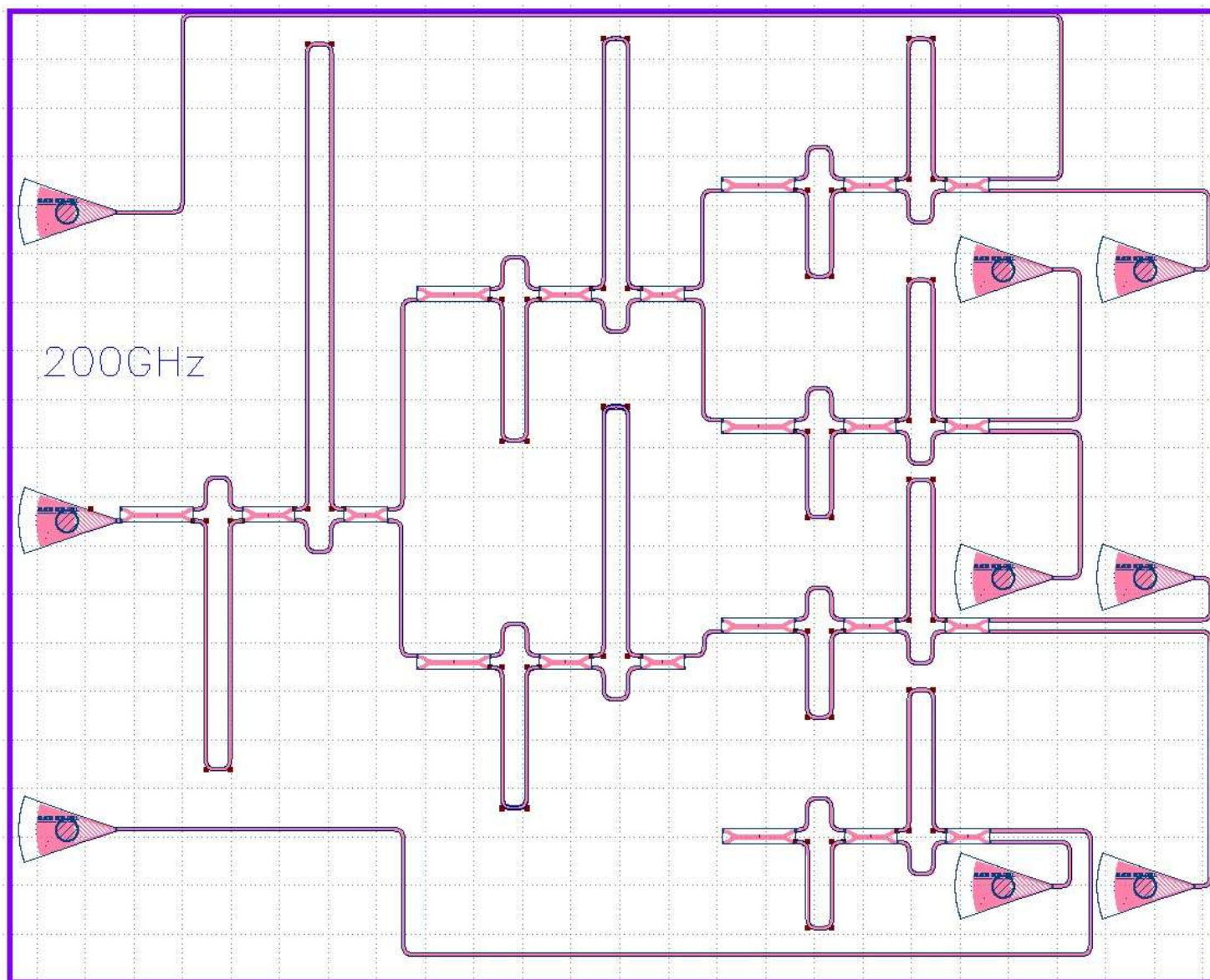
Abordagem holística

GDS – DC broadband



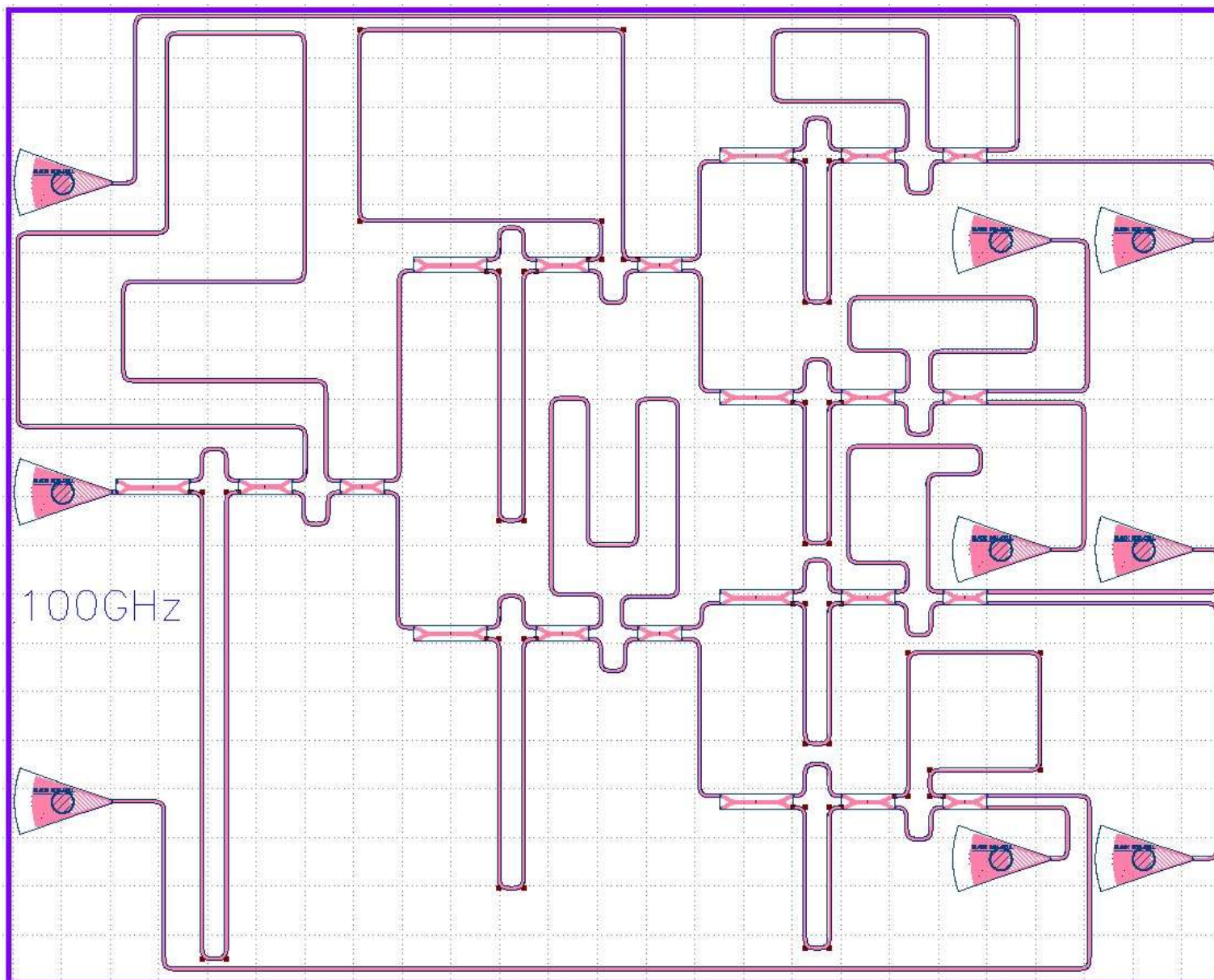
Abordagem holística

Layout provisório – 200GHz



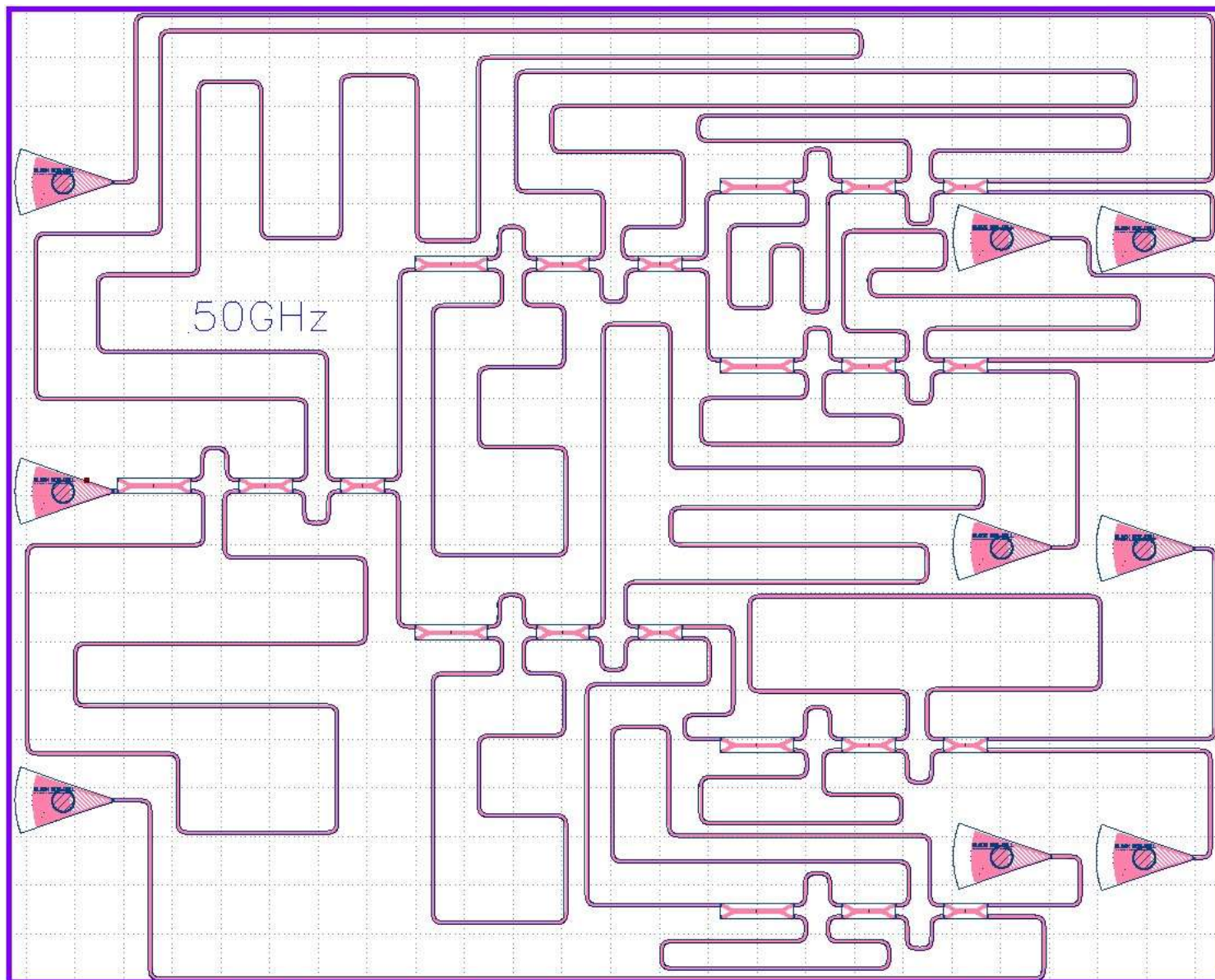
Abordagem holística

Layout provisório – 100GHz



Abordagem holística

Layout provisório – 50GHz

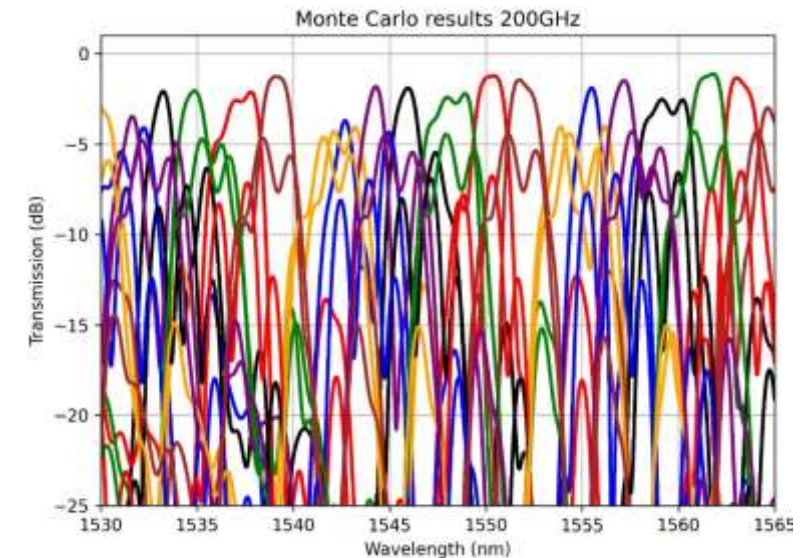
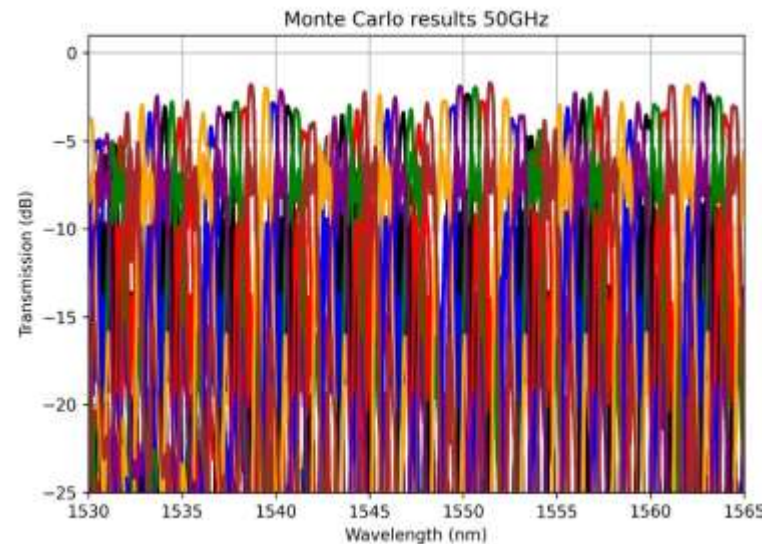
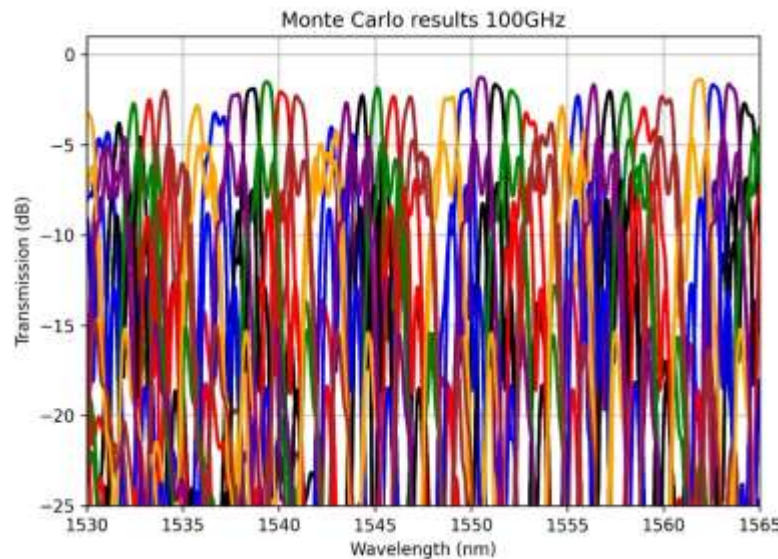


Abordagem holística

Simulações Monte Carlo



Parâmetro: largura de um dos guias do primeiro estágio;
Distribuição: Gaussiana;
Variação: 10%;
Iterações por dispositivo: 10.




Conclusões da semana

Resumo

	200GHz	100GHz	50GHz
Interconnect			
K-Layout			
Monte Carlo			

Legenda

Satisfatório	Razoável	Insatisfatório
		

Referências



6. **FLEXCOMPUTE.** *Broadband directional coupler.* [S.l.]: Flexcompute. Disponível em: <https://www.flexcompute.com/tidy3d/examples/notebooks/BroadbandDirectionalCoupler/>. Acesso em: 6 maio 2025.
7. **LU, Zeqin et al.** *Broadband silicon photonic directional coupler using asymmetric-waveguide based phase control.* Vancouver: University of British Columbia, Department of Electrical and Computer Engineering. [S.l.], [s.n.], [s.d.]
8. **SMARTOPTICS.** *CWDM and DWDM explained.* [S.l.]: Smartoptics. Disponível em: <https://smartoptics.com/knowledgebank-post/cwdm-dwdm-explained/>. Acesso em: 5 maio 2025.

Projeto de Circuitos Fotônicos Integrados



Centro de Competência Embrapii em
Hardware Inteligente para a Indústria



virtus.ufcg.edu.br/cc

Circuitos fotônicos básicos

Atividade 2 – filtros passa-banda MZI SOI
aplicados a WDM e (de-)multiplexadores

Lucivaldo Barbosa de Aguiar Junior